

Klimaneutral 2030

Da wollen wir hin

Stadt Erlangen



Wer, wenn
nicht wir!

Klima
Aufbruch
Erlangen

In Kooperation mit:



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

GREEN CITY
EXPERIENCE

Jetzt informieren!

erlangen.de/klima-aufbruch

Fahrplan Klima-Aufbruch Erlangen

Zwischenbericht 2022

Fabian Bergk, Frank Dünnebeil, Hans Hertle, Eva Rechsteiner, Philipp Wachter // Heidelberg 2022

ifeu Wilckensstr. 3 69120 Heidelberg Telefon +49 (0)6 221. 47 67 - 0 E-Mail ifeu@ifeu.de www.ifeu.de

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
1 Zusammenfassung	6
2 Ausgangslage in Erlangen	9
2.1 Klimaschutz in Erlangen	9
2.2 Energie- und Treibhausgasbilanz	10
2.2.1 Methodik und Datengrundlage	10
2.2.2 Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz 2019	12
2.3 Restbudget-Ansatz	13
2.4 Definition der Klimaneutralität	14
2.5 Einflussmöglichkeiten der Stadt Erlangen auf die THG-Emissionen	14
3 Energie- & Treibhausgasszenarien	18
3.1 Definition der Szenarien	18
3.2 1,5-Grad-Szenario	20
3.2.1 Stationärer Bereich	20
3.2.2 Verkehr	24
3.2.3 Abgleich mit CO ₂ -Budget	27
3.3 Annahmen für die Szenarien “Klima” und “Klima-Plus”	29
3.3.1 Stationärer Bereich	29
3.3.2 Verkehr	35
3.4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den Szenarien	39
3.4.2 Stationärer Bereich	40
3.4.3 Verkehr	42
3.5 Entwicklung der THG-Emissionen in den Szenarien	44
3.5.1 Sektorübergreifende Entwicklung der THG-Emissionen	44
3.5.2 Entwicklung der THG-Emissionen im stationären Bereich	45
3.5.3 Verkehr	46
3.5.4 Vergleich zu 1990	47
3.5.5 Budget-Ansatz	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: THG-Emissionen im 1,5-Grad-Szenario	7
Abbildung 1-2: THG-Emissionen 1,5-Grad-Szenario im Verkehr	8
Abbildung 2-1: Empfehlungen zur Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO) im Verkehr	12
Abbildung 2-2: Einflussbereiche der Erlanger THG-Bilanz 2019 (ohne Verkehr)	16
Abbildung 3-1: Energieverbrauch im 1,5-Grad-Szenario für den stationären Bereich nach Energieträger	23
Abbildung 3-2: THG-Emissionen im 1,5-Grad-Szenario	24
Abbildung 3-3: Pkw-Fahrleistungen 1,5 Grad Szenario	26
Abbildung 3-4: Endenergieverbrauch 1,5-Grad-Szenario im Verkehr	27
Abbildung 3-5: THG-Emissionen 1,5-Grad-Szenario im Verkehr	27
Abbildung 3-6: Kumulierte THG-Emissionen (graue Linie) im 1,5-Grad-Szenario	28
Abbildung 3-7: Wichtige Annahmen im Gebäudesektor am Beispiel Private Haushalte	31
Abbildung 3-8: Fernwärmeerzeugung im Klima- und Klima-Plus-Szenario	32
Abbildung 3-9: Entwicklung des Strom-Emissionsfaktors im Klima- und Klima-Plus-Szenario bis 2045	33
Abbildung 3-10: Stromverbrauch im Klima- und Klima-Plus-Szenario nach Sektoren	34
Abbildung 3-11: Fahrleistungen von Pkw (rot) und Lkw >3,5t (blau) in Erlangen	37
Abbildung 3-12: Elektrische Fahrleistungsanteile von Pkw (links) und Lkw >3,5t (rechts) in Erlangen	38
Abbildung 3-13: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Klima- und Klima-Plus-Szenario	40
Abbildung 3-14: Entwicklung des stationären Endenergieverbrauchs im Klima- und Klima-Plus-Szenario	41
Abbildung 3-15: Entwicklung des Wärmebedarfs nach Energieträgern in den Szenarien	42
Abbildung 3-16: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr im Klima- und Klima-Plus-Szenario	43
Abbildung 3-17: Endenergieverbrauch des Verkehr im Klima- und Klima-Plus-Szenario nach Energieträgern	44
Abbildung 3-18: Entwicklung der THG-Emissionen im Klima- und Klima-Plus-Szenario	45

Abbildung 3-19: Entwicklung der THG-Emissionen im stationären Bereich in den Szenarien	46
Abbildung 3-20: Entwicklung der THG-Emissionen im Verkehr im Klima- und Klima-Plus-Szenario	47
Abbildung 3-21: THG-Emissionsreduktion der Szenarien im Vergleich zu den Bundeszielen	48
Abbildung 3-22: THG-Emissionen des Klima- und Klima-Plus-Szenarios in Relation mit dem CO ₂ -Budget Deutschlands (angelehnt an Öko-Institut 2022)	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Auszug aus der Studie "Klimaneutrales Erlangen" (EVF 2021), S. 13	12
Tabelle 2-2: Einflussbereiche des kommunalen Klimaschutzes mit Beispielen	15
Tabelle 3-1: Annahmen im 1,5-Grad-Szenario	22
Tabelle 3-2: Zentrale Annahmen im 1,5-Grad-Szenario im Verkehr	25
Tabelle 3-3: Anforderungen des 1,5-Grad-Szenarios	28
Tabelle 3-4: Annahmen zur Entwicklung der Rahmendaten in Erlangen	30
Tabelle 3-5: Zusammenfassung zentraler Annahmen der Szenarien im stationären Bereich	35
Tabelle 3-6: Zusammenfassung zentraler Annahmen der Szenarien im Verkehr in Erlangen	38
Tabelle 3-7: THG-Emissionen pro Kopf in den zwei Szenarien in Tonnen CO ₂ -Äquiv.	45

1 Zusammenfassung

Im November 2020 wurde der Fahrplan „Klima-Aufbruch“ in Erlangen vom Stadtrat beschlossen (31/040/2020). Darin enthalten ist die Zielsetzung, das **1,5°C-Ziel** auf städtischer Ebene einzuhalten und das CO₂-Restbudget als Grundlage und Steuerungsgröße zu verwenden. Damit ist die Klimaneutralität vor 2030 zu erreichen. Der Beschluss enthält auch Klimaschutzmaßnahmen für die Stadtverwaltung und städtischen Beteiligungsunternehmen.

In dem Beschluss zum **Fahrplan „Klima-Aufbruch“** ist die Beauftragung eines externen Büros enthalten. Die Arbeiten zum Fahrplan Klima-Aufbruch beinhalten u.a. die Erstellung einer CO₂-Bilanz, die Entwicklung von CO₂-Szenarien und die Erstellung eines Maßnahmenkatalogs unter Beteiligung zentraler Stakeholder und BürgerInnen.

Im Jahr 2019 wurden in Erlangen etwa **900.000 Tonnen CO₂-Äquivalente** ausgestoßen. Den größten Anteil daran hat der Bereich Verkehr (40 %), gefolgt vom Wirtschaftsbereich (38 %). Die privaten Haushalte haben einen Anteil von 20 %, die restlichen 2 % werden durch kommunale Einrichtungen verursacht.

Treibhausgas-Bilanz

Die **THG-Bilanz** zeichnet ein Zustandsbild verschiedener klimapolitischer Entscheidungen aller Ebenen. Die Bilanz gibt einen Überblick über die Verteilung der THG-Emissionen nach verschiedenen Sektoren (z. B. Private Haushalte, Gewerbe, Industrie) und Energieträgern (z. B. Öl, Gas, Strom) in Erlangen. Eine Gegenüberstellung der aktuellsten Bilanz mit denen der Jahre 1990 und 2015 zeigt die langfristigen Tendenzen des Energieeinsatzes und der THG-Emissionen auf. Die Stadt Erlangen kann jedoch nicht alle erfassten THG-Emissionen eigenständig reduzieren, stattdessen hängt das Erreichen der Klimaschutzziele auch von anderen Ebenen (EU, Bund, Land, Kreis) ab. Stark vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass die Stadt Erlangen zwischen **25 % bis 50 % ihrer Emissionen** aus dem stationären Bereich (ohne Verkehr) **direkt beeinflussen** kann.

Im Stadtratsbeschluss zum Fahrplan „Klima-Aufbruch“ wurde die Verwendung des **CO₂-Restbudgets** als Grundlage und Steuerungsgröße für die Formulierung von Klima-Teilzielen und zur Bewertung der CO₂-Reduktionsfortschritte in Erlangen festgehalten. In der Grundlagenstudie Klimanotstand (KlimaKom 2020) wurde für die Stadt Erlangen ab 2020 ein Restbudget von **3,4 Mio. Tonnen CO₂** ermittelt. Unter der Annahme von gleichbleibenden Emissionen (0,9 Mio. Tonnen CO₂ in 2019), wäre das Erlanger Restbudget ab 2020 **bereits in vier Jahren verbraucht**.

Restbudget

Laut Stadtratsbeschluss soll die **Klimaneutralität** in Erlangen vor 2030 erreicht werden. Klimaneutralität (bzw. eigentlich THG-Neutralität) wird erreicht, wenn **alle in der Bilanz erfassten Treibhausgase** (bis auf wenige unvermeidbare Restemissionen durch Vorketten) **auf nahezu null reduziert** sind. Zudem muss die gesamte

Definition Klimaneutralität

Energieversorgung auf erneuerbare Energien umgestellt werden. Eine Anrechnung durch CO₂-Kompensation ist nicht zugelassen.

Basierend auf dem Stadtratsbeschluss vom November 2020 zur Einhaltung des 1,5°C-Ziels wurden für Erlangen ein **1,5-Grad-Szenario** gerechnet. Das Szenario soll darlegen, was bis 2030 passieren müsste, damit Erlangen das Restbudget nicht überschreitet.

Was wäre nötig, um das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten?

Im 1,5-Grad-Szenario sinken die THG-Emissionen im stationären Bereich (ohne Verkehr) bis 2030 um 95 % gegenüber 2019. Um das CO₂-Restbudget einhalten zu können, muss **bereits im Jahr 2023 eine THG-Reduktion um 49 % gegenüber 2020** erreicht werden. Zum Vergleich: zwischen 1990 und 2019 reduzierten sich die Emissionen um etwa 30 %. Entscheidend für die Minderung der Treibhausgasemissionen sind der Einsatz erneuerbarer Energieträger in der bundesweiten Stromerzeugung und eine Reduktion der fossilen Energieträger auf nahezu null bis 2030.

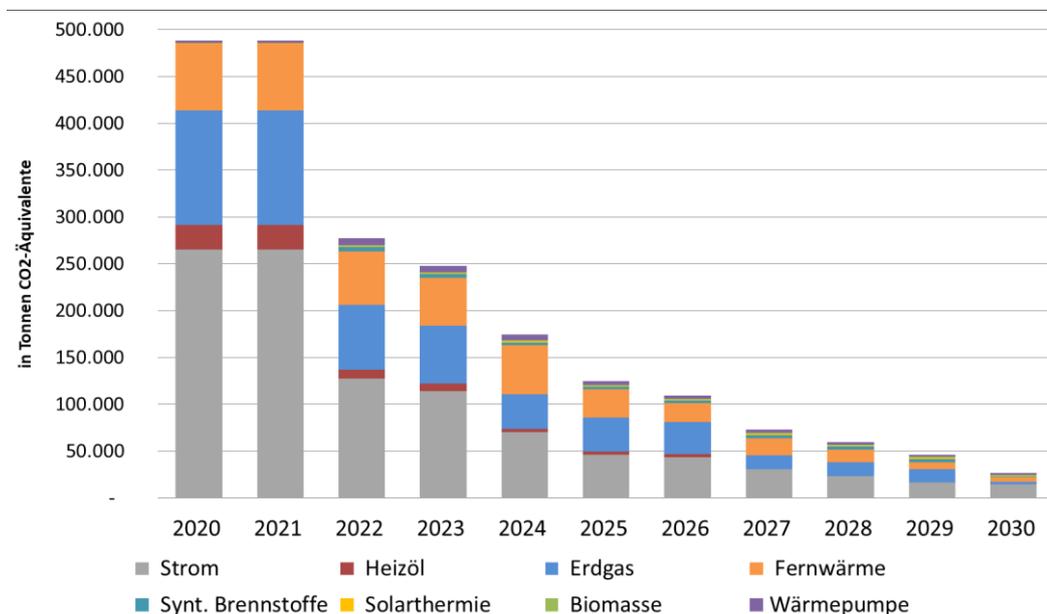


Abbildung 1-1: THG-Emissionen im 1,5-Grad-Szenario

Die **Treibhausgasemissionen** des **Verkehrs** im 1,5-Grad-Szenario (Abbildung 3-5) **sinken bis 2023 um 57 %** und bis 2028 um 93 % gegenüber 2019. Im Jahr 2030 betragen die jährlichen Emissionen des Verkehrs nur noch 2 % gegenüber 2019. Während im Jahr 2023 noch 83 % der jährlichen Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Kraftstoffe stammen, kommen im Jahr 2028 nur noch 24 % aus fossilen Kraftstoffen, aber 75 % aus dem Verbrauch von Strom im Verkehr.

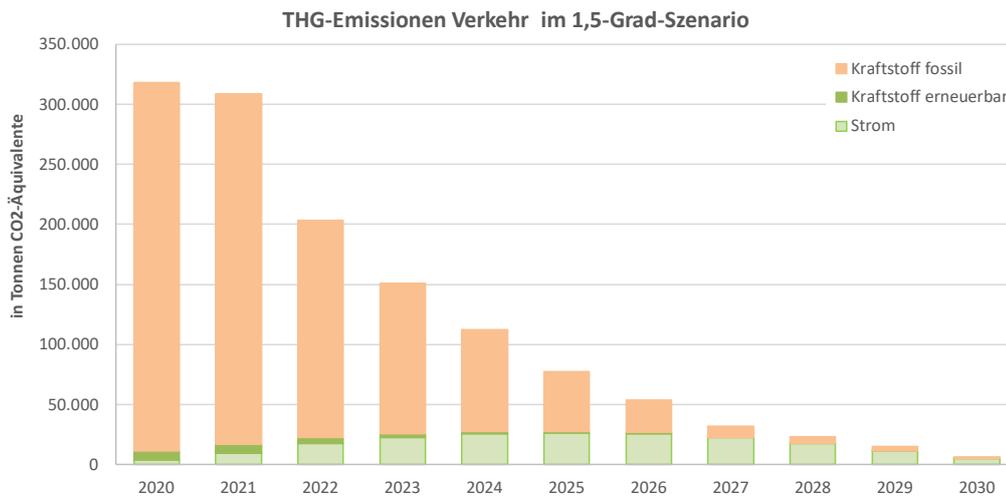


Abbildung 1-2: THG-Emissionen 1,5-Grad-Szenario im Verkehr

Entscheidend beim 1,5-Grad-Szenario ist, dass die Emissionen in den Jahren 2022-2024 schnell genug sinken. Jedoch sind die für das 1,5-Grad-Szenario notwendigen technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene derzeit nicht gegeben. Aus Sicht der GutachterInnen sind die Anforderungen des **1,5-Grad-Szenario nicht realistisch umsetzbar**.

Aus diesem Grund wurden für Erlangen **zwei weitere Szenarien (Klima-Plus und Klima)** ermittelt. Diese Szenarien stellen in zwei unterschiedlichen Ambitionsgraden weitere Annahmen und Entwicklungen dar. Die Szenarien gehen von einer THG-Minderung bis 2045 um etwa 95 % aus. Das Klima-Szenario entspricht einem fast linearen Absenkpfad bis 2045, das Klima-Plus-Szenario einem stark forcierten Absenkpfad mit deutlich schnelleren Treibhausgasminderungen für die kommenden Jahre bis 2035, der sich an dem 1,75-Grad-Ziel orientiert. Aus den Annahmen dieser Szenarien können Teil-Indikatoren und Maßnahmen für die Stadt Erlangen abgeleitet werden. Diese Szenarien bieten damit eine Orientierung für die Klimaschutzaktivitäten von städtischen und nicht-städtischen Akteuren.

Klima- und Klima-Plus-Szenario

Um das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten, benötigt es in Erlangen, aber auch auf Bundes- und Landesebene ein tiefgreifendes, sofortiges Umdenken mit entsprechenden Maßnahmen. Die Wissenschaft ist sich einig, dass bei Überschreiten eines weltweiten Temperaturanstiegs um 1,5 Grad gravierende klimatische Veränderungen wirksam werden, die unabsehbare Gefahren für große Teile der Weltbevölkerung bedeuten. Für den weiteren Prozess wird daher empfohlen, dass 1,5-Grad-Ziel nicht in Frage zu stellen. Die Stadt Erlangen sollte versuchen alles, was möglich ist, umzusetzen.

2 Ausgangslage in Erlangen

2.1 Klimaschutz in Erlangen

Im November 2020 wurde der Fahrplan „Klima-Aufbruch“ in Erlangen vom Stadtrat beschlossen. Darin enthalten ist die Zielsetzung, das 1,5°C-Ziel auf städtischer Ebene einzuhalten und das CO₂-Restbudget als Grundlage und Steuerungsgröße zu verwenden. Damit ist die Klimaneutralität vor 2030 zu erreichen. Der Beschluss enthält auch Klimaschutzmaßnahmen für die Stadtverwaltung und städtischen Beteiligungsunternehmen.

Eine detaillierte Darstellung zum Stand bestehender Klimaschutzmaßnahmen aus dem 2016 verabschiedeten Energie- und Klimaschutzkonzept ist im IKSK Monitoring Bericht (BV 31/058/2021) zu finden.

In dem Beschluss (31/040/2020) zum Fahrplan „Klima-Aufbruch“ in Erlangen ist die Beauftragung eines externen Büros enthalten. Die Arbeiten zum Fahrplan Klima-Aufbruch beinhalten u.a.

- Erstellung einer Energie- und CO₂-Bilanz 2020
- Entwicklung von Energie- und CO₂-Szenarien
- Erstellung eines Maßnahmenkatalogs
- Beteiligung zentraler Stakeholder und BürgerInnen
- Entwicklung eines prozessbegleitenden Kommunikationskonzepts
- Konzeptentwicklung des Instruments „Klimahaushalt“

Zusammen mit dem Beschluss wurden auch Sofortmaßnahmen für die Gesamtstadt beschlossen. Die Maßnahmen werden im Zuge der Ausarbeitung des Fahrplans „Klima-Aufbruch“ konkretisiert und ergänzt.

Vorliegender Zwischenbericht stellt bisherige Arbeiten durch das ifeu dar. In den kommenden Monaten werden Workshops mit lokalen Akteuren durchgeführt und ein Maßnahmenkatalog erstellt. Im September 2022 liegt der Fahrplan Klima-Aufbruch für Erlangen vor.

2.2 Energie- und Treibhausgasbilanz

2.2.1 Methodik und Datengrundlage

Die Erstellung der Erlanger Energie- und Treibhausgasbilanz 2019 erfolgte mithilfe des online-basierten Bilanzierungstools Klimaschutz-Planer. Das Tool folgt der Bilanzierungssystematik Kommunal (BISKO), die durch die Standardisierung der Bilanzierungsmethodik einen deutschlandweiten Vergleich von Treibhausgasbilanzen mit anderen Kommunen ermöglicht (ifeu 2019).

Bilanziert werden alle im betrachteten Territorium anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie (z.B. am Hauszähler gemessen und verrechnet) und entsprechend den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet. Die Erstellung der Bilanz nach Energieträgern erfolgt mit dem Ziel der Aufteilung in folgende Sektoren:

- Private Haushalte
- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- Industrie (Verarbeitendes Gewerbe)
- Kommunale Einrichtungen
- Verkehr

Aus dem integrierten Klimaschutzkonzept (2016) und den ersten Analysen für ein klimaneutrales Erlangen (EVF 2021) liegen bereits Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Jahre 2015 bis 2019 vor. Diese folgen der BISKO-Systematik, sodass für das Bilanzjahr 2020 daran angeknüpft werden kann.

Methodik und Datengrundlagen im stationären Bereich

Grundsätzlich wird bei Energie- und THG-Bilanzen versucht, auf primärstatistische Daten zurückzugreifen. Dies ist bei den leitungsgebundenen Energieträgern Erdgas, Fernwärme und Strom über die Netzbetreiber bzw. lokalen Energieversorger möglich. Die Daten wurden entsprechend bei den Erlanger Stadtwerken (ESTW) abgefragt. Die Stadtwerke können für den Sektor Private Haushalte den Strom- und Erdgasverbrauch aufgeschlüsselt bereitstellen. Zudem wurden für die Ermittlung des lokalen Fern-/Nahwärme-Emissionsfaktors die Daten der Erzeugungsanlagen der ESTW aufbereitet.

Zur Erhebung der Verbrauchsdaten der nicht leitungsgebundenen Energieträger wird auf Daten des statistischen Landesamtes (bereitgestellt durch den Klimaschutz-Planer) zurückgegriffen. Die Ermittlung des Energieverbrauchs nicht leitungsgebundener Energieträger erfolgt über indirekte Berechnungen mithilfe der Daten der Schornsteinfeger. Zudem werden die Daten aus dem Marktanreizprogramm des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für die Ab-

schätzung der Wärmeenergieerzeugung von Solarthermie-Anlagen¹ in den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) genutzt und mit bundesweiten Kennzahlen abgeglichen. Daten zum Heizstrom von Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen wurden von den ESTW bereitgestellt. Detaillierte Datengrundlagen und Berechnungswege sind im Klimaschutz-Planer festgehalten.

Methodik und Datengrundlagen im Verkehr

Die Bilanzierung erfolgt im Verkehrsbereich, wie in Abbildung 2-1 gezeigt, in Anlehnung an die BSKO-Systematik.

- Systemgrenzen: Endenergieverbrauch des motorisierten Verkehrs innerhalb des Territoriums der Kommune
- Verkehrsmittel: Alle motorisierten Verkehrsmittel
- THG-Emissionen: CO₂-Äquivalente unter Einbezug der Vorkettenemissionen zur Kraftstoff- und Strombereitstellung

Notwendige Datengrundlagen für die Bilanzierung sind zum einen Angaben zu den Verkehrsaktivitäten (Fahr- und Verkehrsleistungen), zum anderen Informationen zu den spezifischen Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen der Verkehrsmittel.

¹ <http://www.solaratlas.de/>

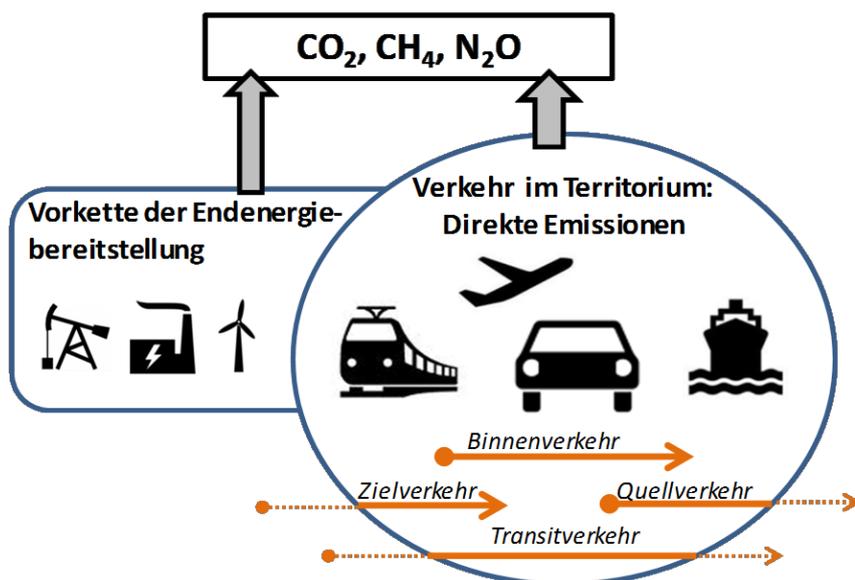


Abbildung 2-1: Empfehlungen zur Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO) im Verkehr

2.2.2 Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz 2019

Im Rahmen der Studie „Klimaneutrales Erlangen – erste Analysen“ (EVF 2021) wurde eine Energie- und THG-Bilanz für die Jahre 2015 bis 2019 erarbeitet.

Tabelle 2-1: Auszug aus der Studie "Klimaneutrales Erlangen" (EVF 2021), S. 13

Tab. 4 THG-Emissionen nach Sektoren

Sektoren	1990	2015	2019	Entwicklung	
	[t]	[t]	[t]	1990 - 2019	2015 - 2019
Strom	500.661	406.562	350.880	-30%	-14%
Wärme	414.360	226.491	225.804	-46%	-0,3%
Kraftstoffe	389.689	337.397	345.462	-11%	2%
Summe	1.304.710	970.450	922.146	-29%	-5%
Pro-Kopf-Verbrauch	12,7	9,0	8,2	-35%	-8%

Aufgrund noch fehlender Datengrundlagen kann die THG-Bilanz für 2020 erst im Frühjahr 2022 erstellt werden. Die Ergebnisse der THG-Bilanz 2020 werden im Endbericht aufgeführt.

2.3 Restbudget-Ansatz

Im Stadtratsbeschluss zum Fahrplan „Klima-Aufbruch“ in Erlangen vom November 2020 wurde die Verwendung des CO₂-Restbudgets als Grundlage und Steuerungsgröße für die Formulierung von Klima-Teilzielen und zur Bewertung der CO₂-Reduktionsfortschritte in Erlangen festgehalten.

Die Verwendung des CO₂-Restbudgets zeigt auf, ob klimapolitische Ziele und bisherige THG-Reduktionen mit dem Pariser Abkommen kompatibel sind. „Das CO₂-Budget bezeichnet die kumulativen anthropogenen CO₂-Emissionen, die ab einem gegebenen Zeitpunkt noch emittiert werden können, sodass die daraus resultierende Erwärmung der Erde eine bestimmte Temperaturschwelle nicht übersteigt“ (SRU 2020, S. 38). Das bedeutet, dass die Festlegung eines Zieljahres für die Erreichung der Klimaneutralität nicht ausreicht, sondern zusätzlich ein CO₂-Restbudget als ergänzendes Kriterium verwendet werden muss.

Während der Bericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) globale CO₂-Budgets für unterschiedliche Temperaturanstiege und Wahrscheinlichkeiten vorlegt, ist die nationale Budgetverteilung zwischen den Ländern nicht verbindlich geklärt. Auch für Kommunen gibt es noch keine verbindliche methodische Vorgabe zur Berücksichtigung des CO₂-Budgets.

In der Grundlagenstudie Klimanotstand (KlimaKom 2020) wurde das deutsche CO₂-Restbudget nach der empfohlenen Methodik des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) ab 2020 auf 2,5 Mrd. Tonnen CO₂ ermittelt, wenn die Erderwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % auf 1,5°C beschränkt werden soll. Mit der Übernahme der Empfehlungen des SRU folgt die Stadt Erlangen einer Methodik, die die Gerechtigkeitsfrage berücksichtigt. „Mit einer Bevölkerungszahl von 111.962 EinwohnerInnen (Stand 2019) würde der Stadt Erlangen demnach ab 2020 ein Restbudget von 3,4 Mio. Tonnen CO₂ zur Verfügung stehen“ (KlimaKom 2020, S. 28). Im Jahr 2019 emittierte die Stadt Erlangen etwa 0,88 Mio. Tonnen CO₂. Unter der Annahme von gleichbleibenden Emissionen, wäre das Erlanger Restbudget ab 2020 bereits in vier Jahren verbraucht.

2.4 Definition der Klimaneutralität

Als Grundlage für die Bilanzierung der Treibhausgase empfiehlt das Umweltbundesamt (UBA 2021) die Einhaltung der Bilanzierungssystematik kommunal (BISKO):

- Mit dem Verbrauch von Energie dürfen keine Treibhausgasemissionen mehr verbunden sein.
- Die gesamte Energieversorgung muss auf erneuerbare Energien umgestellt werden.
- Kompensation ist nicht zugelassen.
- Für nicht-energetische Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft, der Abwasserwirtschaft sowie Industrieprozessen (vornehmlich der Kalk-, Zement- und Glasindustrie) soll ein Monitoring eingeführt werden.

Klimaneutralität (bzw. eigentlich THG-Neutralität) wird also erreicht, wenn **alle in BSKO erfassten Treibhausgase** (bis auf wenige unvermeidbare Restemissionen durch Vorketten)¹ **auf nahezu null reduziert** sind.

2.5 Einflussmöglichkeiten der Stadt Erlangen auf die THG-Emissionen

Das Erreichen der Klimaschutzziele hängt nicht nur von der Kommune ab. Es ist ein Zusammenspiel aus verschiedenen Ebenen (EU, BUND, Land, Kreis, Kommune) nötig, um die Erlanger Klimaschutzziele zu erreichen.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts vom Umweltbundesamt (UBA 2022)² zu den Wirkungspotenzialen kommunaler Klimaschutzmaßnahmen, hat das ifeu die Einflusspotenziale der Kommunen auf die THG-Reduktion untersucht. Das Forschungsprojekt zeigte, dass der Anteil beeinflussbarer Emissionen stark von den Gegebenheiten der Kommune abhängt, bspw. von deren Größe, vorhandenen Akteure (bspw. kommuneneigene Stadtwerke, Wohnbaugesellschaften) und der Energieinfrastruktur.

Im Rahmen des Projekts wurden vier Einflussbereiche festgelegt, die jeweils durch die Stärke der Einflussmöglichkeit abgestuft werden (vgl. Tabelle 2-2).

¹ Diese haben 2030 einen Anteil von max. 10% der 2020 emittierten Treibhausgase.

² Umweltbundesamt (2022).

Tabelle 2-2: Einflussbereiche des kommunalen Klimaschutzes mit Beispielen

Einflussbereiche	Effektivität des Einflusses		
	Hoch	Mittel	Gering
1. Verbrauchen & Vorbild	<i>Einflussbereich 1:</i> Sanierung der eigenen Gebäude; Umstellung des eigenen Fuhrparks; Sanierung der Straßenbeleuchtung	<i>Einflussbereich 1a:</i> Sanierung der Gebäude komm. Unternehmen (z. B. WBG ¹); Fuhrpark und dienstl. Mobilität in komm. Unternehmen; Effiziente Technologien in Ver- und Entsorgungsanlagen	
2. Versorgen & Anbieten	<i>Einflussbereich 2:</i> Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur; Rückbau von Parkplätzen / Pkw-Straßenraum (Straßenumgestaltung)	<i>Einflussbereich 2a:</i> Fernwärmeausbau und Optimierung der Fernwärme; Ausbau ÖPNV-Angebot	
3. Regulieren	<i>Einflussbereich 3:</i> Festlegung von Flächen zur Nutzung Erneuerbarer Energien (Bauleit- und Flächennutzungsplanung); Vorgabe von Energiestandards für Gebäude in der Bebauungsplanung, Parkraumbewirtschaftung		
4. Beraten & Motivieren		<i>Einflussbereich 4a:</i> Beratung, Informationskampagnen, Förderprogramme usw. für private Haushalte und GHD (z. B. durch Netzwerke, Runde Tische)	<i>Einflussbereich 4b:</i> Beratung, Informationskampagnen, Förderprogramme usw. für Industrie/Emissionshandelsunternehmen (z. B. durch Netzwerke, Runde Tische);

Quelle: UBA (2022, S. 13).

Die nach der Bilanzierungsmethodik BISCO erstellte Energie- und THG-Bilanz einer Kommune stellt nicht nur das Ergebnis von früheren Entscheidungen und Entwicklungen der Kommune dar, sondern zeichnet ein Zustandsbild verschiedener

¹ WBG = Wohnungsbaugesellschaft

klimapolitischer Entscheidungen aller Ebenen. Für Kommunen ist es jedoch essenziell, zukünftig besser einzuschätzen, welche Möglichkeiten sie haben, ihre eigenen Energie- und THG-Bilanz zu reduzieren. Daher wurde für Erlangen der stationäre Bereich der THG-Bilanz 2019¹ in die oben genannten Einflussbereiche aufgeteilt, um deutlich zu machen, wie hoch die jeweiligen Anteile sind.

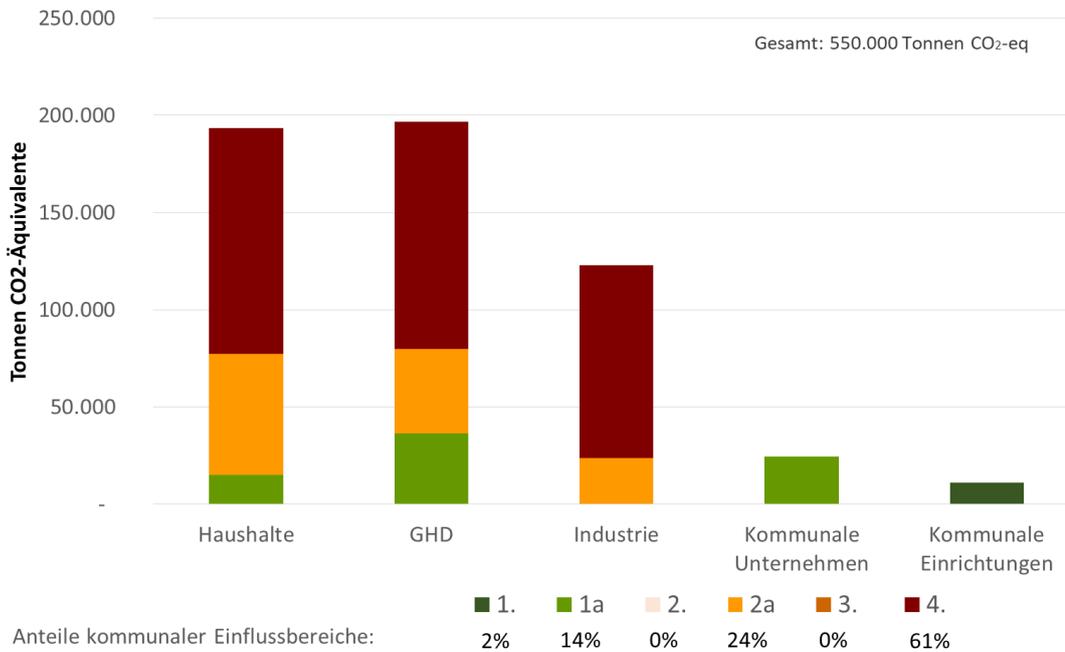


Abbildung 2-2: Einflussbereiche der Erlanger THG-Bilanz 2019 (ohne Verkehr)

Aus der Abbildung 2-2 wird deutlich, dass etwas mehr als die Hälfte der Emissionen (61 %) in Erlangen vor allem durch den **Bereich 4 - Beraten & Motivieren** beeinflusst werden kann. In diesem Bereich können Kommunen über Beratung oder Anreize Akteure zu klimaschonenden Handeln motivieren.

Der **Bereich 2a - Versorgen & Anbieten** erfasst etwa 24 % der Emissionen und beinhaltet die Wärmeinfrastruktur (Fernwärme und zu 50 % den Erdgasverbrauch²) der ESTW. Über die Beteiligung an kommunalen Unternehmen kann die Stadt je nach Anteilshöhe über zukünftige Klimaschutzentscheidungen bestimmen und kann dadurch bspw. die Klimaschutzstrategie der kommunalen Energieversorger beeinflussen. Die Stadt Erlangen ist zu 100 % Anteilseignerin der Erlanger Stadtwerke GmbH. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Fernwärmeerzeugung von der Stadt Erlangen direkt beeinflusst werden kann.

¹ Im Verkehr liegen noch keine ausreichenden Daten vor, um eine entsprechende Aufteilung in die Einflusspotenziale vorzunehmen.

² Der Erdgasverbrauch der Stadt Erlangen wird dem Einflussbereich 2a (Versorgung) zur Hälfte zugerechnet und zur anderen Hälfte der „Kundenseite“, dem Einflussbereich 4 entsprechend.

Im **Einflussbereich 1a - Verbrauch & Vorbild / kommunale Unternehmen und öffentliche Einrichtungen** finden sich der Wärmeverbrauch der GEWOBAU sowie der Wärmeverbrauch¹ der Universität und der Uniklinik.² Insgesamt hat dieser Einflussbereich einen Anteil von 14 %. Auch bei der GEWOBAU ist die Stadt zu 96 % Anteilseignerin, sodass die Stadt hier einen direkten Einfluss auf den Wärmeverbrauch des Gebäudebestands hat.

Der **Einflussbereich 1 – Verbrauch & Vorbild** betrifft die kommunalen Liegenschaften und hat einen Anteil von 2 %. Hier hat die Kommune die volle Entscheidungshoheit und direkten Einfluss (Bsp. eigene Gebäude, Straßenbeleuchtung).

Der **Einflussbereich 3 - Regulieren** ist in Erlangen v.a. im Verkehr zu finden, da die Stadtplanung zumeist zukünftige THG-Emissionen im Neubau behandelt.

Die Einteilung kann zu Zuteilungskonflikten führen. Können Energieverbräuche oder THG-Emissionen mehreren Einflussbereichen zugeordnet werden, erfolgt die Zuordnung primär dem übergeordneten Einflussbereich (Beispiel THG-Emissionen der fernwärmeversorgten kommunalen Liegenschaften bzw. der kommunalen Wohnungswirtschaft werden dem Einflussbereich – Verbrauch & Vorbild 1 und 1a zugeordnet, die restlichen THG-Emissionen der Fernwärme Einflussbereich 2a).

Wenn die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt stark vereinfacht werden, kann insgesamt davon ausgegangen werden, dass die Stadt Erlangen zwischen 25 % bis 50 % ihrer Emissionen aus dem stationären Bereich direkt beeinflussen kann. Die Spannweite zwischen dem größten und kleinsten beeinflussbaren Wert ergibt sich aus der zugeschriebenen Beeinflussbarkeit der Erdgasversorgung und der Höhe des Energieverbrauchs der städtischen Beteiligungsunternehmen. Die Erdgasversorgung liegt in Erlangen zwar zu 100 % in städtischer Hand, allerdings unterliegt sie auch technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen, die nicht in der städtischen Beeinflussbarkeit liegen. Es wurde daher eine Bandbreite zur Beeinflussbarkeit des Erdgasverbrauchs angenommen.

¹ Zu einem kleinen Teil wird auch der Stromverbrauch berücksichtigt, da die Akteure durch Stromeffizienzmaßnahmen und Anreize für Nutzerverhalten Einfluss auf die Stromemissionen nehmen können.

² Die Daten der GEWOBAU liegen bisher noch nicht vor und sind daher geschätzt.

3 Energie- & Treibhausgasszenarien

Szenarien dienen dazu, die Wirkung von verschiedenen Rahmenbedingungen auf die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen abzuschätzen. Sie untersuchen zum Beispiel, welche unterschiedlichen Auswirkungen eine Sanierungsrate von einem oder fünf Prozent auf den Energiebedarf von Gebäuden hat. Szenarien zeigen die wichtigsten Stellschrauben im System auf und welche Wirkung die Änderung dieser auf den Energieverbrauch bzw. die THG-Emissionen hat.

Grundlage der Berechnungen ist die Energie- und THG-Bilanz der Stadt aus dem Jahr 2019. Letzteres dient als Referenzjahr und wird im Folgenden als „Bilanzjahr“ oder „Ausgangsjahr“ bezeichnet.

Basierend auf dem Stadtratsbeschluss vom November 2020 zur Einhaltung des 1,5°C-Ziels wurde für Erlangen ein **1,5-Grad-Szenario** gerechnet. Das Szenario soll darlegen, was bis 2030 passieren müsste, damit Erlangen das Restbudget nicht überschreitet. Jedoch sind die dafür notwendigen technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen derzeit nicht gegeben. Aus Sicht der GutachterInnen sind die Anforderungen des 1,5-Grad-Szenarios damit nicht realistisch umsetzbar.

Aus diesem Grund wurden für Erlangen zwei weitere Szenarien (Klima-Plus und Klima) ermittelt. Diese Szenarien stellen in zwei unterschiedlichen Ambitionsgraden weitere Annahmen und Entwicklungen dar. Aus den Annahmen dieser Szenarien können Teil-Indikatoren und Maßnahmen für die Stadt Erlangen abgeleitet werden und bieten damit eine Orientierung für die Klimaschutzaktivitäten von städtischen und nicht-städtischen Akteuren.

3.1 Definition der Szenarien

Bisherige Klimaschutzkonzepte von Kommunen gingen meist (angelehnt an die Ziele der Bundesregierung) vom Ziel der Verringerung der THG-Emissionen bis zum Jahr 2050 um etwa 95 % aus. Durch das Vorziehen der Zielsetzung der Bundesregierung auf 2045 werden auch die kommunalen Klimaschutzszenarien angepasst. Dennoch zeigen aktuelle Studien, dass auch das aktuell im Gesetz verankerte Ziel in Deutschland – einschließlich der dazugehörigen Sektorzwischenziele -

THG-Neutralität bis 2045 zu erreichen, nicht mit einem 1,5 °C-Pfad und auch nicht mit einem 1,75 °C-Pfad vereinbar ist.¹

Die drei Szenarien werden folgendermaßen definiert:

- **1,5-Grad-Szenario:** Das Szenario basiert auf dem Restbudget-Ansatz (siehe Kap. 2.3). Damit bleiben für Erlangen 3,4 Mio. Tonnen CO₂ ab dem Jahr 2020. Anhand des verbleibenden Restbudgets wird mit der Backcasting-Methode ein Reduktionspfad bis 2030 skizziert. Das Szenario stellt die Frage „Was muss geschehen, damit das Restbudget eingehalten wird?“ und leitet anhand des skizzierten Reduktionspfads die notwendigen Schritte und Meilensteine ab.
- **Klima-Szenario:** Das Szenario orientiert sich an den Langfristzielen der Bundesregierung nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz vom August 2021. Ziel ist demnach die Klimaneutralität 2045. Bis 2030 nimmt das Klima-Szenario die bereits beschlossenen Maßnahmen aus dem Klimaschutzprogramm 2030 als Grundlage, mit denen jedoch nicht das Ziel einer 65 %-Minderung bis 2030 erreicht wird. Es wird daher angenommen, dass bis 2030 weitere ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden, die ihre Wirkung jedoch vor allem nach 2030 entfalten. Bis 2040 wird das Ziel der Regierung von -88 % Treibhausgasreduktion erreicht. Im Klima-Szenario wird ein stetiger Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2045 angenommen. Der Strommix in diesem Szenario entspricht den Annahmen, welche durch das Kohleausstiegsgesetz beschlossen wurden.
- **Klima-Plus-Szenario:** In diesem Szenario wird angenommen, dass auf allen Ebenen intensivierete Anstrengungen erfolgen, um das im Pariser-Klimaabkommen vereinbarte Ziel „deutlich unter 2-Grad“ einzuhalten. Auf Bundesebene bedeutet dies, dass zu den bisher verabschiedeten Maßnahmen des Klimaschutzprogramms 2030 weitere zusätzliche Maßnahmen umgesetzt werden müssen, um die bisherigen Reduktionsziele von -65 % bis 2030 deutlich zu übertreffen und damit die Emissionsminderung gegenüber dem Klima-Szenario deutlich zu verstärken. In der Stromerzeugung wird 2030 ein Anteil von 80 % erneuerbaren Energien erreicht, 2035 werden bereits 92 % der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien gedeckt. Im Effizienzbereich wird angenommen, dass Sanierungsrate und Sanierungstiefe im Gebäudebestand gegenüber dem Klima-Szenario noch einmal deutlich erhöht werden. Bei der Wärmeversorgung wird 2035 ein Großteil klimafreundlich bereitgestellt. Im Stromverbrauch spielen hocheffiziente Geräte und Suffizienzstrategien eine wichtige Rolle. Im Verkehr werden sowohl Elektromobilität als auch Maßnahmen zur Vermeidung und Verlagerung auf klimafreundliche Verkehrsmittel intensiviert. Damit ehrgeizige Maßnahmen auch auf anderen Ebenen stattfinden, werden auch in Erlangen zusätzliche Maßnahmen („Plus“) ergriffen.

¹ Vgl. Öko-Institut (2022).

Die Szenarien "Klima" und "Klima-Plus" gehen von einer THG-Minderung bis 2045 um etwa 95 % aus. Das Klima-Szenario entspricht einem fast linearen Absenkpfad bis 2045, das Klima-Plus-Szenario einem stark forcierten Absenkpfad mit deutlich schnelleren Treibhausgasminderungen für die kommenden Jahre bis 2035, das sich an dem 1,75-Grad-Ziel orientiert. Beide Szenarien basieren auf der Forecast-Methode. Ausgehend vom Ist-Zustand werden in allen Handlungsfeldern mehr oder weniger ambitionierte Annahmen zur weiteren Entwicklung getroffen.

Das 1,5-Grad-Szenario ist ein Backcast-Szenario, d.h. ausgehend von einem definierten Ziel (bzw. CO₂-Budget) werden Annahmen formuliert, die zur Erreichung dieses Ziels führen.

Wesentliche Grundlagen der Berechnungen sind

- die Energie- und THG-Bilanz der Stadt Erlangen für das Jahr 2019
- eigene Analysen zu Energieeinspar- und Energieversorgungspotenzialen
- für bundesweite Annahmen:
 - Langfrist- und Klimaszenarien des BMWi (Fraunhofer ISI 2021)
 - Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050 (prognos 2020)
 - Szenario klimaneutrales Deutschland 2045 der Stiftung Klimaneutralität (Agora 2021)
- TREMOD-Modell für den Verkehrsbereich

Die Szenarien sind unterteilt in den stationären Bereich (umfasst Strom- und Wärmeverbrauch aus den Sektoren Haushalte, GHD und Industrie) und in den Verkehrsbereich.

3.2 1,5-Grad-Szenario

Wie im Kap. 2.3 dargestellt, verbleibt für Erlangen ein Restbudget von 3,4 Mio. Tonnen CO₂ ab 2020. Ausgehend von diesem verbleibenden Budget wurden für das 1,5-Grad-Szenario Annahmen formuliert, anhand der die THG-Emissionen Erlangens innerhalb des vorgegebenen Budgets bleiben. Die folgenden Annahmen und Ergebnisse stellen dar, was notwendig ist, um eine Treibhausgasneutralität vor 2030 zu erreichen.

3.2.1 Stationärer Bereich

Folgende Annahmen liegen im 1,5-Grad-Szenario im stationären Bereich zugrunde:

- **Gebäudeeffizienz:** Da für den Einsatz erneuerbarer Energieträger auch der Wärmebedarf von Gebäuden gesenkt werden muss, ist im 1,5-Grad-Szenario eine Sanierungsrate von 10 % notwendig. Bei etwa 20.000 Wohngebäuden in Erlangen bedeutet dies, dass ab 2023 jährlich 2.000 Wohngebäude saniert werden müssten (bei derzeit etwa 360 zugesagten KfW-Förderungen¹ im Jahr 2019 in Erlangen). Zudem muss die Sanierungstiefe gehoben werden, sodass 2028 bereits ein Wärmekennwert von 71 kWh/qm erreicht wird.
- **Dezentrale Gebäudewärme:** Um das Restbudget einzuhalten, müssen die Emissionen aus der Gebäudewärme möglichst schnell gesenkt werden. Aufgrund der hohen spezifischen Emissionen müssen alle Ölheizungen bis 2027 ersetzt sein. Im Jahr 2023 müssen von den vorhandenen etwa 1.400 Ölheizungen 900 Ölheizungen ausgetauscht werden. Die Wärmeerzeugung aus Erdgas in privaten Haushalten und GHD muss ebenfalls schnell reduziert werden. Für die Erdgasheizungen bedeutet dies, dass im Jahr 2023 2.400 der knapp 5.000 in Erlangen vorhandenen Erdgasheizungen ausgetauscht werden.
- **Fernwärmeerzeugung:** Aufgrund des gesenkten Wärmebedarfs sinkt der Fernwärmeverbrauch bis 2028 um knapp 40 %. Bereits im Jahr 2023 muss ein Drittel der Fernwärmeerzeugung erneuerbar sein. Im Jahr 2028 liegt der Anteil bei 100 %.
- **Strombereitstellung:** Ebenso wie die Wärmeerzeugung muss auch die Stromerzeugung deutlich schneller erneuerbar werden. Im 1,5-Grad-Szenario sinkt der Stromemissionsfaktor bis 2023 auf 181 g/kWh, was einem Anteil erneuerbarer Energien von etwa 65 % entspricht. Ab 2028 beträgt der Stromemissionsfaktor nur noch 25 g/kWh, die Stromerzeugung ist zu 100 % erneuerbar.

¹ Förderreport KfW Bankengruppe, Stichtag: 31. Dezember 2019; https://www.kfw.de/Presse-Newsroom/Pressematerial/F%C3%B6rderreport/KfW-F%C3%B6rderreport_2019.pdf

Tabelle 3-1 zeigt eine Zusammenfassung der Annahmen für das 1,5-Grad-Szenario.

Tabelle 3-1: Annahmen im 1,5-Grad-Szenario

	2023	2028
Wärme-Kennwert (kWh/qm)	96	71
Sanierungsrate	<1 %	10 %
Wohnfläche pro Einwohnerin (in qm)	41	36
Wärmebereitstellung		
Jährliche Austauschrate Ölkessel		14 % (100% bis 2027)
Fernwärmeverbrauch ggü. 2019		-39 %
Emissionsfaktor Fernwärme (g/kWh)	140	40
Erdgasverbrauch ggü. 2019		-98 %
Wärmepumpe Faktor Ausbaurrate ggü. 2019		18
Strombereitstellung		
Stromemissionsfaktor (Bundesmix in g/kWh)	181	25

Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen

Der Endenergieverbrauch sinkt bis 2030 im 1,5-Grad-Szenario um 27 % gegenüber 2019, was einer jährlichen Energiereduktion von ca. 2 % entspricht. Zum Vergleich: zwischen 1990 und 2019 sank der Endenergieverbrauch im Schnitt jährlich um ein Prozent. Im Vergleich zu den THG-Emissionen sinkt der Energieverbrauch deutlich langsamer, da die dafür benötigten Effizienzmaßnahmen wie energetische Gebäudesanierung oder der Einsatz energieeffizienter Geräte aufgrund verschiedener Faktoren in den nächsten Jahren nicht so schnell umgesetzt werden können. In den Jahren 2022 bis 2027 wird vor allem der Heizöl- und Erdgasverbrauch auf nahezu null reduziert, während die Nutzung von Wärmepumpen stark zunimmt.

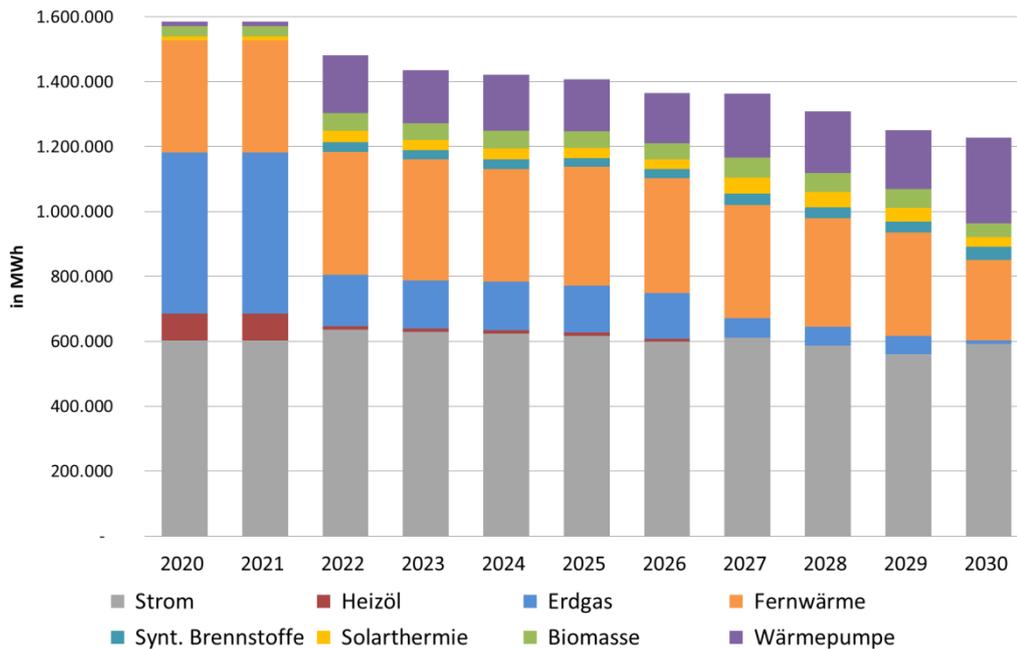


Abbildung 3-1: Energieverbrauch im 1,5-Grad-Szenario für den stationären Bereich nach Energieträger¹

Im 1,5-Grad-Szenario sinken die THG-Emissionen bis 2030 um 95 % gegenüber 2019. Um das CO₂-Restbudget einhalten zu können, muss **bereits im Jahr 2023 eine THG-Reduktion um 49 % gegenüber 2020** erreicht werden. Zum Vergleich: zwischen 1990 und 2019 reduzierten sich die Emissionen um etwa 30 %.

Entscheidend für die Minderung der Treibhausgasemissionen ist der Einsatz erneuerbarer Energieträger in der bundesweiten Stromerzeugung. Der Stromemissionsfaktor muss im Jahr 2023 um mehr als die Hälfte reduziert werden, von derzeit ca. 430 g/kWh auf 181 g/kWh im Jahr 2023. Das führt auch zu einer Halbierung der Stromemissionen in Erlangen. Bereits bis zum Jahr 2025 müssen fossile Energieträger im Wärmebereich um 70 % und bis 2028 um 88 % im Vergleich zu 2019 reduziert werden, damit die kumulierten Emissionen des stationären Bereichs in Erlangen im Zeitraum 2020 bis 2030 innerhalb des 1,5-Grad-Budgets bleiben. Im Jahr 2030 kommen fast keine fossilen Energieträger mehr zum Einsatz.

¹ Für die Bilanz 2021 wurde auf die Daten von 2020 zurückgegriffen.

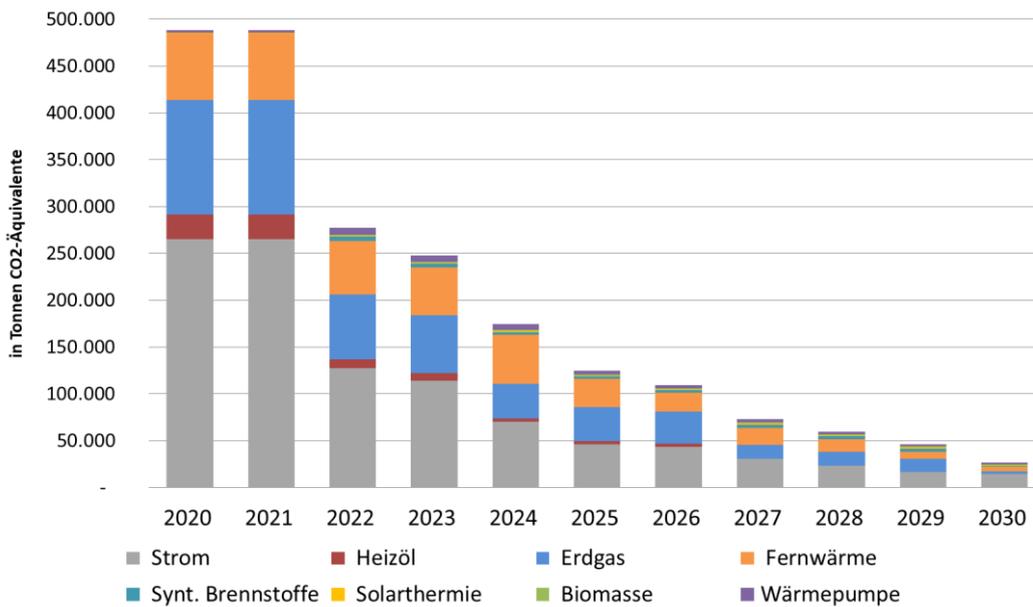


Abbildung 3-2: THG-Emissionen im 1,5-Grad-Szenario

3.2.2 Verkehr

Um das verbleibende 1,5°C-Budget im Verkehr einzuhalten, müssen die THG-Emissionen insbesondere in den nächsten Jahren erheblich schneller reduziert werden, als dies mit den angenommenen Entwicklungen im Klima- und Klima-Plus-Szenario erreichbar ist. Der Schlüssel für die erforderliche Emissionsreduktion liegt in einer schnellen Reduktion der Verkehrsmengen unmittelbar in den nächsten zwei bis fünf Jahren, da eine Beschleunigung technischer Stellhebel (Elektromobilität mit regenerativem Strom, erneuerbare Kraftstoffe) über die auf gesamtdeutscher Ebene anvisierten und erreichbaren Geschwindigkeiten kaum möglich ist.

Folgende Annahmen liegen im 1,5-Grad-Szenario im Verkehr zugrunde:

- **Pkw-Elektromobilität:** Bis 2030 werden bundesweit 100 % Neuzulassungsanteil vollelektrischer Pkw (BEV) sowie im Bestand 15 Mio. erreicht. Ein noch schnellerer Hochlauf ist aufgrund des benötigten Hochlaufs von Fertigungskapazitäten (Fahrzeuge, Batterieherstellung) nur schwer möglich und insbesondere für die entscheidenden nächsten zwei bis fünf Jahre daher nicht anzunehmen. Die absolute Anzahl von BEV-Pkw in Erlangen wächst proportional zur gesamtdeutschen Zunahme. Dabei werden neue BEV-Pkw primär in Carsharing und Ridesharing eingesetzt und erreichen somit eine deutlich größere Nutzerbasis und überdurchschnittliche Fahrleistungsanteile ggü. Privat-Pkw. Die elektrische Pkw-Fahrleistung steigt bis 2030 auf 213 Mio. Fz-km (25 % der heutigen Gesamtfahrleistung).
- **Pkw-Fahrleistungen:** Zur Einhaltung des 1,5°C-Budgets muss der Pkw-Verkehr bis 2023 gegenüber 2020 insgesamt halbiert werden. Dabei werden ausschließlich Fahrleistungen von Verbrenner-Pkw reduziert (-60 %), diese werden teilweise auf gemeinsam genutzte Elektro-Pkw (Car-/Ridesharing) sowie den Umweltverbund (ÖPNV [inkl. on-demand-Angebote], Rad, Fuß)

verlagert, zum Teil vollständig vermieden. Ab dem Jahr 2028 fahren in Erlangen ausschließlich vollelektrische Pkw (vgl. Abbildung 3-3).

- **ÖPNV und übriger Umweltverbund:** Um Pkw-Fahrleistungen zu verlagern, muss der ÖPNV massiv ausgebaut werden. Wenn 50 % der einzusparenden Pkw-Fahrleistungen auf den ÖPNV verlagert werden sollen, müsste die ÖPNV-Nutzung sich bereits bis 2023 gegenüber dem Vor-Corona-Niveau verdreifachen. Bis 2028 ist eine Vervielfachung notwendig. Bei einem schwächeren Anstieg der ÖPNV-Nutzung sind die benötigte vollständige Vermeidung von Pkw-Fahrten bzw. die Verlagerung auf elektrisches Car-/Ridesharing umso höher. Auch Rad- und Fußverkehrsnutzung müssen für die erforderliche Pkw-Verkehrsreduktion stark ansteigen, haben allerdings insbesondere bei dem in Erlangen stark ausgeprägten regionalen Quell-Ziel-Verkehr nur begrenztes Potenzial zur Substitution von Pkw-Fahrten.
- Auch **Lieferverkehr und Lkw-Verkehr** müssen analog zum Pkw-Verkehr eine starke Verkehrsreduktion innerhalb der nächsten Jahre stark reduziert und gleichzeitig schnellstmöglich elektrifiziert werden, wenn der Verkehr innerhalb des anteiligen 1,5°C-Budgets verbleiben soll.
- Erneuerbare Kraftstoffe tragen über die aktuell beigemischten Biokraftstoffanteile hinaus nicht zur Budgeteinhaltung im Verkehr ein, da ihr Einsatz nicht kurzfristig signifikant gesteigert werden kann und zudem bereits ab 2028 der Kfz-Verkehr vollständig elektrifiziert ist.

In Tabelle 3-2 sind die zentralen Annahmen für das 1,5-Grad-Szenario im Verkehr dargestellt.

Tabelle 3-2: Zentrale Annahmen im 1,5-Grad-Szenario im Verkehr

	2023	ab 2028
ÖPNV-Nachfrage Öffentlicher Personennahverkehr	+200% ggü. 2019	+350% ggü. 2019
MIV-Fahrleistungen Motorisierter Individualverkehr	-50% ggü. 2020	-75% ggü. 2020
Elektro-Pkw - Anteil an MIV-Fahrleistung - Zunahme ggü. 2020	21% x 20 (+2.000%)	100% x 50 (+5.000%)
Lkw-Verkehr - Fahrleistungsänderung ggü. 2020 - Anteil alternative Antriebe (Elektro, H ₂)	-50% 23%	-75% 100%
Erneuerbare Kraftstoffe	9,3% (= Bundesmittel)	n.a.*

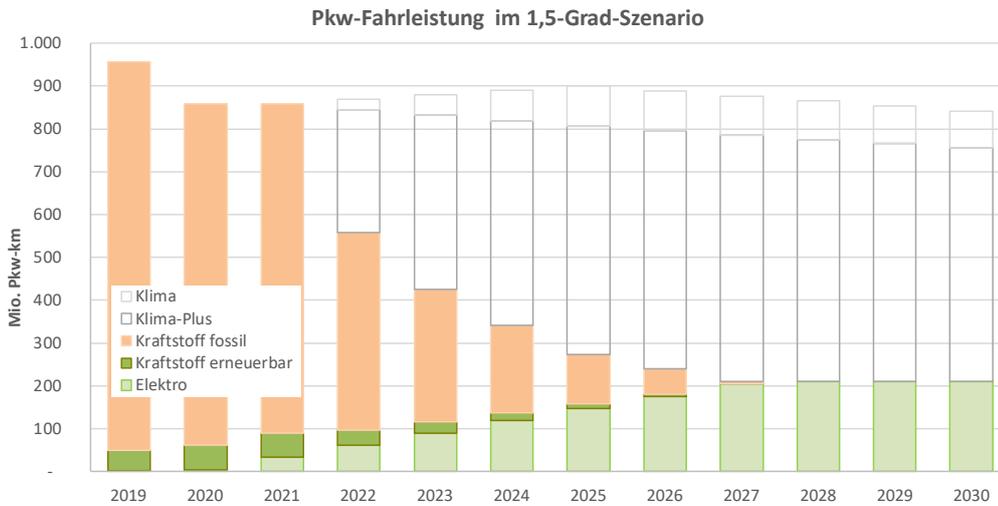


Abbildung 3-3: Pkw-Fahrleistungen 1,5 Grad Szenario

Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen

Der **Endenergieverbrauch** des Verkehrs im 1,5-Grad-Szenario (Abbildung 3-4) sinkt bis 2030 insgesamt um 85 % gegenüber 2019. Entscheidend für die Minderung der Treibhausgasemissionen ist der fossile Kraftstoffverbrauch. Dieser muss bereits bis zum Jahr 2023 um knapp 60 % und bis 2028 um 98 % im Vergleich zu 2019 reduziert werden, damit die kumulierten Emissionen des Verkehrs in Erlangen im Zeitraum 2020 bis 2030 innerhalb des 1,5-Grad-Budgets bleiben. Im Jahr 2030 kommen quasi keine fossilen Kraftstoffe mehr im Verkehr zum Einsatz.

Die **Treibhausgasemissionen** des Verkehrs im 1,5-Grad-Szenario (Abbildung 3-5) sinken bis 2023 um 57 % und bis 2028 um 93 % gegenüber 2019. Im Jahr 2030 betragen die jährlichen Emissionen des Verkehrs nur noch 2 % gegenüber dem 2019. Während im Jahr 2023 noch 83 % der jährlichen Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Kraftstoffe stammen, kommen im Jahr 2028 nur noch 24 % aus fossilen Kraftstoffen, aber 75 % aus dem Verbrauch von Strom im Verkehr.

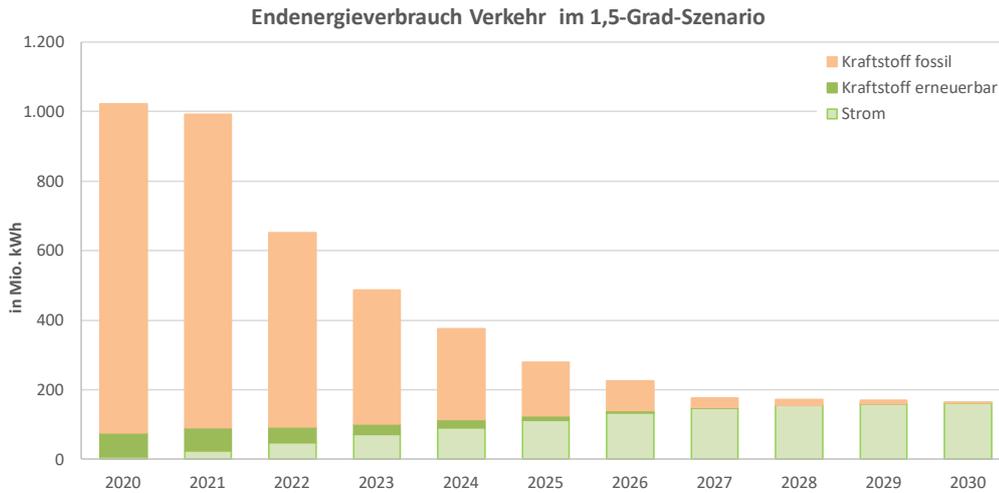


Abbildung 3-4: Endenergieverbrauch 1,5-Grad-Szenario im Verkehr

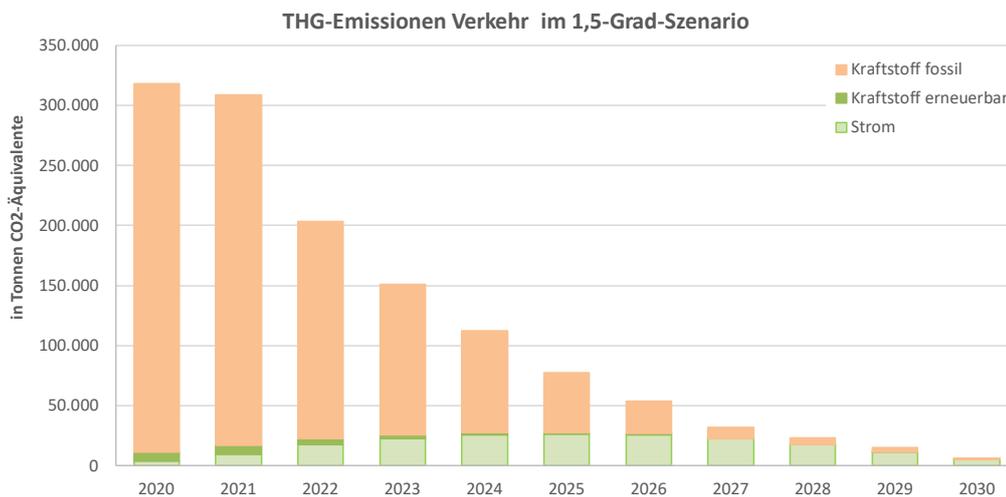


Abbildung 3-5: THG-Emissionen 1,5-Grad-Szenario im Verkehr

3.2.3 Abgleich mit CO₂-Budget

Insgesamt erreichen die kumulierten THG-Emissionen aus dem stationären Bereich und dem Verkehrssektor des 1,5-Grad-Szenarios in den Jahren 2020 bis 2030 3,4 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen. Damit liegen sie innerhalb des aus dem 1,5-Grad-Ziel abgeleiteten Restbudgets für Erlangen (vgl. Kap. 2.3).

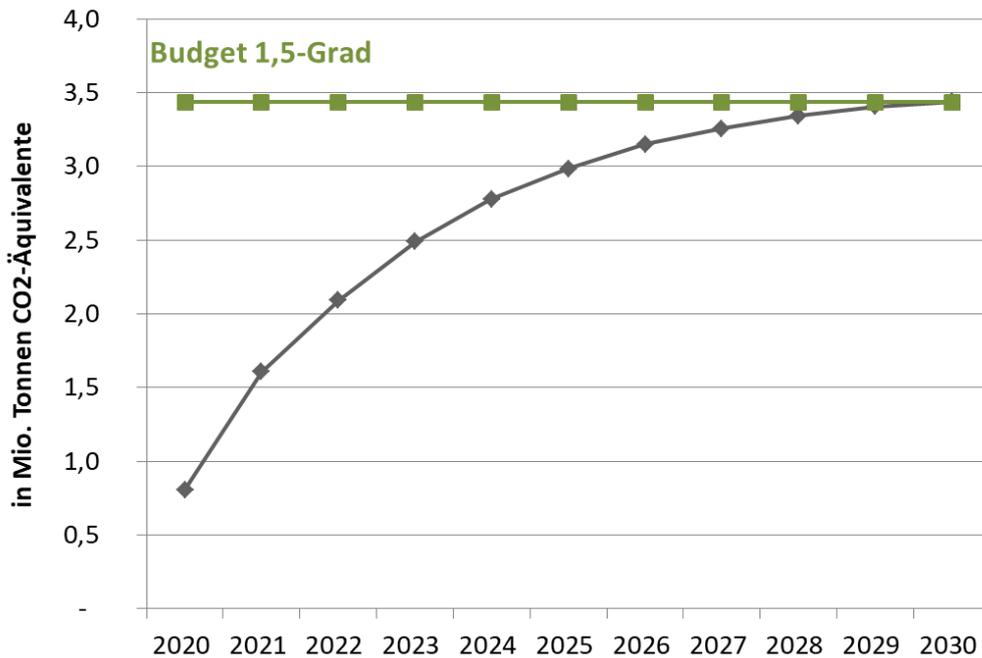


Abbildung 3-6: Kumulierte THG-Emissionen (graue Linie) im 1,5-Grad-Szenario

Die dem 1,5-Grad-Szenario zugrunde liegenden Annahmen bedeuten ein sofortiges und umfassendes Umsteuern in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. In Tabelle 3-3 werden die Anforderungen einer Klimaneutralität vor 2030 aufgelistet und mit einer Einschätzung der GutachterInnen versehen, inwiefern diese realistisch umsetzbar sind.

Tabelle 3-3: Anforderungen des 1,5-Grad-Szenarios

Anforderung Klimaneutralität vor 2030	Einschätzung
Anhebung der Sanierungsrate auf 10 Prozent	Aufgrund verschiedener Hemmnisse (Fachkräftemangel, fehlende Wirtschaftlichkeit, Baustoffknappheit) derzeit nicht möglich
Erneuerbare Fernwärme	Zu einem bestimmten Prozentsatz umsetzbar, aber nicht in der benötigten Zeitspanne
Ersatz von Heizöl	Austausch aller 1.400 Ölheizungen bis 2027 technisch möglich, aufgrund von Fachkräftemangel jedoch nicht in der benötigten Geschwindigkeit
Ersatz von Erdgas	Nur zu ca. 50 Prozent umsetzbar
Stromemissionsfaktor	Aufgrund verschiedener Hemmnisse (hinderliche Rahmenbedingungen auf Bundesebene,

	Fachkräftemangel, Nutzungskonflikte) nicht erreichbar
Pkw-Fahrleistungen und ÖPNV-Anstieg	Eine Halbierung des gesamten Pkw-Verkehrs im Stadtgebiet (inkl. Autobahn) bei gleichzeitiger Verdreifachung der ÖPNV-Nutzung innerhalb eines Jahres ist auch mit ambitioniertesten Verhaltensänderungen der Erlanger Bevölkerung nicht realistisch, insbesondere da ein Großteil des Pkw-Verkehrs auf regionale Quell-Ziel-Fahrten (z.B. Einpendler) entfällt, die nur in Kooperation mit den umliegenden Kommunen verlagert oder vermieden werden können.
Pkw-Elektromobilität	Der Hochlauf vollelektrischer Pkw in Erlangen ist prinzipiell möglich, wenn auf Bundesebene die Ziele des Koalitionsvertrags (15 Mio. vollelektrische Pkw bis 2030) erreicht werden. Ein Hemmnis kann in der Bereitstellung lokaler Ladeinfrastruktur (privat, öffentlich) liegen, die durch Fachkräftemangel gebremst wird.
Lkw-Fahrleistungen	Eine Halbierung des Lkw-Verkehrs innerhalb eines Jahres ist nicht erreichbar, da die lokale Wirtschaft und Versorgung der Bevölkerung auf die Lieferverkehre angewiesen ist, zudem ist ein Großteil Autobahndurchgangsverkehr.

Aufgrund verschiedener regulatorischer und technischer Rahmenbedingungen wird das Budget in Erlangen ab 2025 mit hoher Sicherheit überschritten. Im Folgenden werden daher zwei weitere Szenarien dargestellt, die sich am 1,75-Grad bzw. am 2-Grad-Ziel orientieren.

3.3 Annahmen für die Szenarien “Klima” und “Klima-Plus”

3.3.1 Stationärer Bereich

Die zentralen demografischen und wirtschaftlichen Variablen für die Entwicklung des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen sind die Bevölkerungszahl, die Zahl der Haushalte und die Zahl der Erwerbstätigen.

Die oben beschriebenen Szenarien unterscheiden sich in ihren Annahmen deutlich. Die Rahmendaten zur Einwohnerentwicklung und den sozialversicherungspflichtig Beschäftigten sind jedoch in allen Szenarien gleich (vgl. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Annahmen zur Entwicklung der Rahmendaten in Erlangen

	2019	2035	2045	Quelle
Einwohner	111.962	117.000	117.000	Statistikamt Erlangen (2020): Kleinräumige Bevölkerungsprognose, eigene Annahmen
Haushalte	56.500	58.700	58.700	Prognos/EWI/GWS (2014), Agora (2021)
SV-Beschäftigte GHD	65.424	66.000	66.000	Eigene Annahmen

Bei der Umsetzung der verschiedenen Potenziale unterscheiden sich die Szenarien. Es liegen unterschiedliche Annahmen zu Grunde, welche im Folgenden aufgeführt werden.

Gebäudewärme

Im Vergleich zu 1990 verringerten sich die THG-Emissionen im Sektor Wärme in Erlangen bis 2019 um 190.000 Tonnen, was einer Minderung von 45 % entspricht (EVF 2021). Wichtige Ursachen für die bisherige Emissionsreduktion waren die Substitution von Kohle und Heizöl, die verbesserten Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger (Brennwerttechnologie) und die gesteigerte Gebäudeeffizienz durch Sanierungen.

Zur Minderung der zukünftigen THG-Emissionen in den Szenarien des Gebäudesektors tragen vor allem die Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energieträger sowie die Verbesserung der Effizienz bei Gebäudehüllen bei. Im Klima-Szenario wird die Sanierungsaktivität angehoben. Bis zum Jahr 2035 steigt die Sanierungsrate auf 2 %, bis 2045 auf 3 % an. Im Klima-Plus-Szenario wird angenommen, dass die jährliche Sanierungsrate bis 2035 auf 3 % steigt, bis 2045 auf 4 %.¹ Die Raten beziehen sich auf den Gesamtbestand. Die Sanierungstiefe von Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) liegt im Klima-Szenario bei etwa 85 kWh/m² Wohnfläche (bei Mehrfamilienhäusern (MFH) bei etwa 65 kWh/m²), beim Klima-Plus-Szenario wird von einer höheren Sanierungstiefe ausgegangen (bei EZFH unter 80 kWh/m², bei MFH unter 60 kWh/m²).² Eine große Herausforderung ist die

¹ Im Vergleich mit Studien auf Bundesebene sind die Sanierungsraten im Klima-Szenario etwas erhöht (vgl. Agora (2021) = 1,6 %). Grund dafür ist der hohe Anteil an Wohneinheiten der GEWOBAU in Erlangen, für die in den nächsten Jahren bereits Sanierungsfahrpläne vorliegen.

² Vergleichswerte: Der Wärmebedarf unsanierter EFH bzw. MFH liegt zwischen 150 bis 250 kWh/m².

lange Lebensdauer der Wärmeerzeuger und der Bauteile der Gebäudehüllen. Auch der Mangel an Fachkräften, die für die Sanierung der Gebäude benötigt werden, erschwert die rasche Modernisierung der Gebäude und Heizungen. Entsprechend wichtig ist es, die anfallenden Ersatzzyklen für eine Dekarbonisierung zu nutzen und Neu- und Ersatzinstallation von Erdgas- oder Heizölanlagen zu vermeiden.

In beiden Szenarien werden ab 2025 keine neuen Wärmeerzeuger mehr auf Basis von Heizöl oder Erdgas installiert. Zusätzlich wird im Klima-Plus-Szenario angenommen, dass bis 2028 alle Ölheizungen gegen klimafreundlichere Wärmeerzeuger ausgetauscht wurden (jährliche Austauschrate von 17%). Im Klima-Szenario wird von einer Austauschrate von 4 % der Ölheizungen ausgegangen. Durch die zusätzliche Begrenzung der maximalen Nutzungsdauer bei Öl- und Gasheizungen auf maximal 20 Jahre ab dem Jahr 2030 steigt der Anteil der jährlich ersetzten Anlagen.

Im Klima-Szenario haben fossile Energieträger 2045 noch einen Anteil von knapp 10 % des Wärmeverbrauchs in Erlangen. Im Klima-Plus-Szenario fallen die fossilen Wärmeerzeuger fast vollständig aus der Wärmeversorgung (kleiner 2 % im Jahr 2045). Demgegenüber gewinnen die elektrischen Wärmepumpe und (anteilig) die Fernwärme stark an Bedeutung.

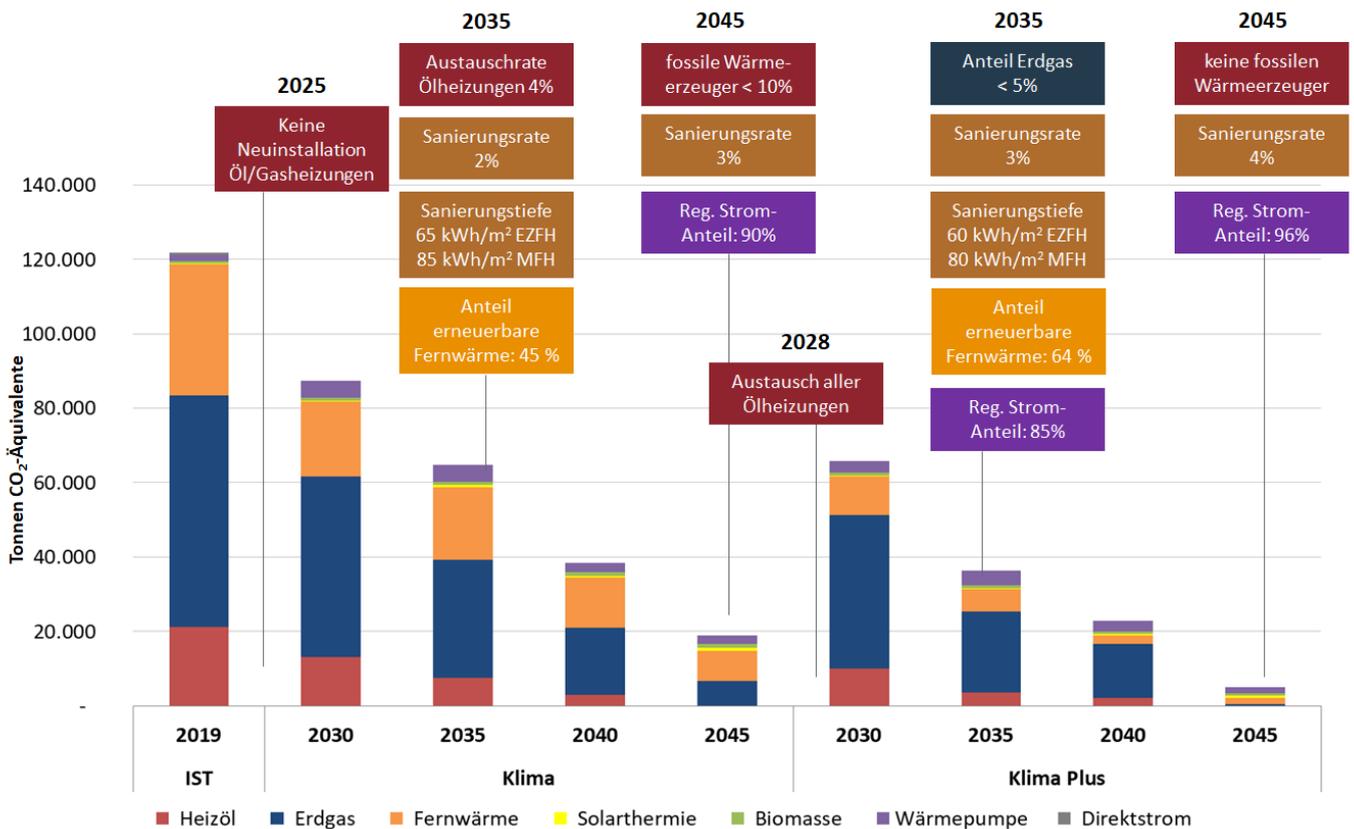


Abbildung 3-7: Wichtige Annahmen im Gebäudesektor am Beispiel Private Haushalte

Fernwärmeerzeugung

Die Dekarbonisierung betrifft auch die Erzeugung von Fernwärme. Im Klima-Szenario werden Wärmenetze ausgebaut und die Fernwärmeerzeugung steigt bis 2030 um knapp 10 % an. Die Struktur der Fernwärmeerzeugung ändert sich deutlich, da der Einsatz von Erdgas im Klima-Szenario nach 2030 stark zurückgeht und ab 2040 ein Teil durch Wasserstoff ersetzt wird.

Im Klima-Plus-Szenario geht der Einsatz von Erdgas bereits bis 2030 deutlich zurück und hat noch einen Anteil von 20 % an den eingesetzten Energieträgern. Die Fernwärme wird ab 2030 im Klima-Plus-Szenario größtenteils über Großwärmepumpen und einem Mix aus Biomasse, Solarthermie und Wasserstoff erzeugt.

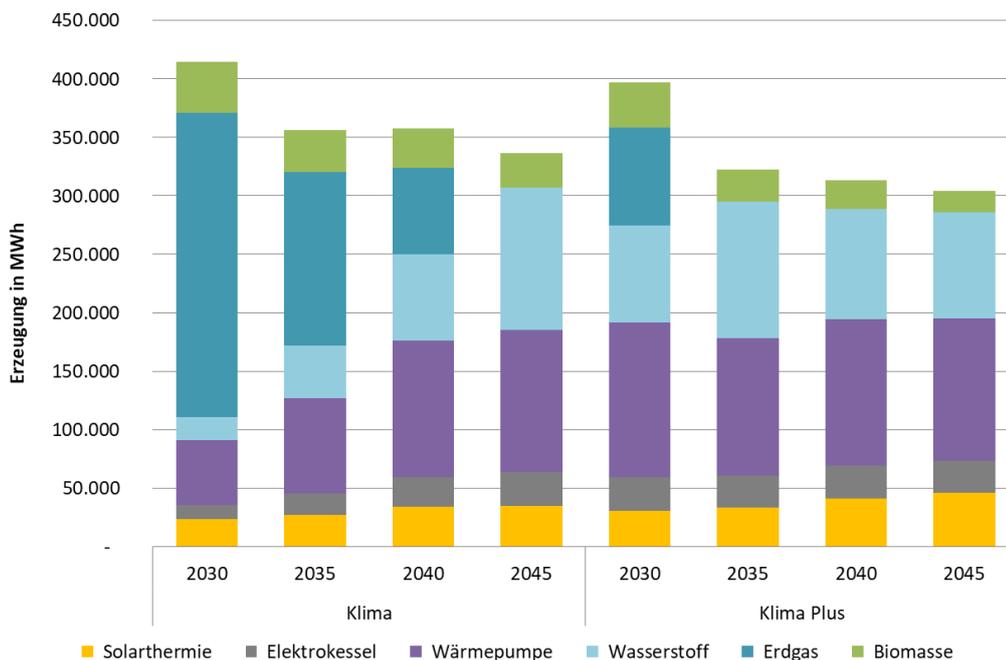


Abbildung 3-8: Fernwärmeerzeugung im Klima- und Klima-Plus-Szenario

Strombereitstellung

Mit einem Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor und der starken Reduktion des Einsatzes von Kohle und Erdgas zur Stromerzeugung in Deutschland kann der Stromemissionsfaktor bis 2045 stark reduziert werden. Das hat zur Folge, dass in den Szenarien trotz eines fast gleichbleibenden Stromverbrauchs die Emissionen aus dem Stromverbrauch stark sinken. Im Klima-Plus-Szenario wird 2030 ein Anteil von 80 % erneuerbare Energien erreicht, im Klima-Szenario werden 2030 70 % angenommen. Bis 2045 erreicht die erneuerbare Stromerzeugung im Klima-Szenario einen Anteil von 90 %, im Klima-Plus-Szenario wird dieser Anteil bereits 2040 erreicht (siehe Abbildung 3-9).

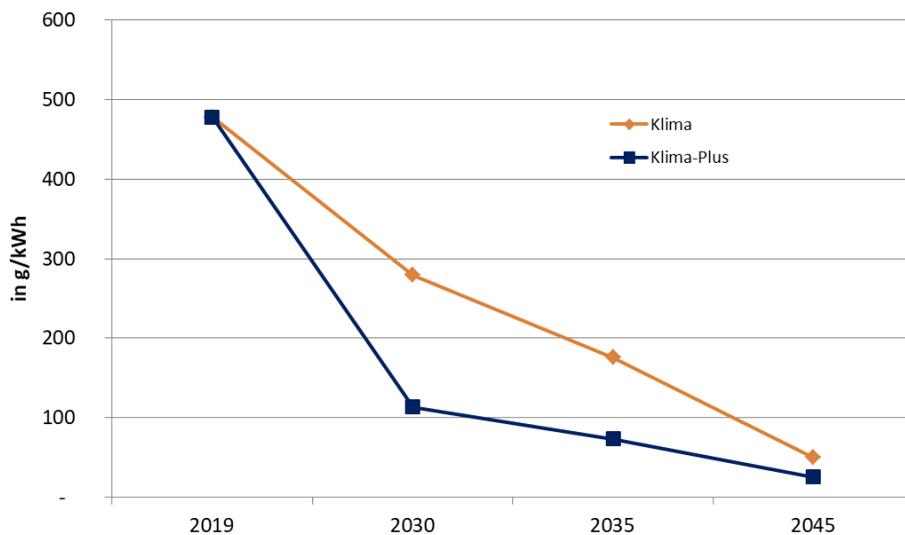


Abbildung 3-9: Entwicklung des Strom-Emissionsfaktors im Klima- und Klima-Plus-Szenario bis 2045

Im Vergleich zur Vergangenheit beschleunigt sich der Ausbau der Photovoltaik und Windenergie in beiden Szenarien. In der Dekade bis 2030 beträgt der mittlere jährliche Bruttozubaue in Deutschland 10 Gigawatt Photovoltaik (im Klima-Szenario). Auf die Einwohnerzahl Erlangens heruntergebrochen entspräche dies einem jährlichen Zubau von 14 MW_p (bei derzeit 25 MW_p installierter Leistung). Da der notwendige Zubau an Photovoltaik innerhalb kürzester Zeit nicht allein über Dachflächen-PV erreicht werden kann, müssen zusätzliche PV-Installationen (Freiflächen-PV, Agri-PV, Parkplatz-PV) in der Region forciert werden.

Stromnachfrage

Durch eine verstärkte Elektrifizierung aller Sektoren und Bereiche bleibt der Stromverbrauch bis 2045 im stationären Bereich trotz Effizienzsteigerungen konstant. Der zusätzliche Strombedarf für Elektrolyse wird dabei nicht hinzugerechnet¹.

Stromeinsparungen ergeben sich durch immer effizientere Elektrogeräte und Beleuchtung. Zusammen mit einer besseren Dämmung von Gebäuden und der Installation von Wärmepumpen führen diese Entwicklungen dazu, dass sich der Strombedarf der Haushalte und im GHD-Sektor kaum verändert bzw. leicht sinkt. Im Industrie-Sektor steigt der Stromverbrauch bis 2045 um +15 % im Klima-Szenario und um +13 % im Klima-Plus-Szenario durch die Elektrifizierung der Bereitstellung von Prozesswärme.

¹ Selbst bei massivem Ausbau der Photovoltaik in Erlangen würden nur geringe sommerliche Überschüsse aus erneuerbaren Energien entstehen. Der Großteil wird vor Ort genutzt. Wasserstoff müsste importiert werden (z.B. aus Überschussproduktion von Wind-Offshoreanlagen). In Erlangen gibt es daher keinen zusätzlichen Strombedarf für die Elektrolyse.

Suffizienzmaßnahmen im Klima-Plus-Szenario bewirken, dass der Stromverbrauch bis 2045 etwas stärker sinkt als im Klima-Szenario (siehe Abbildung 3-10).

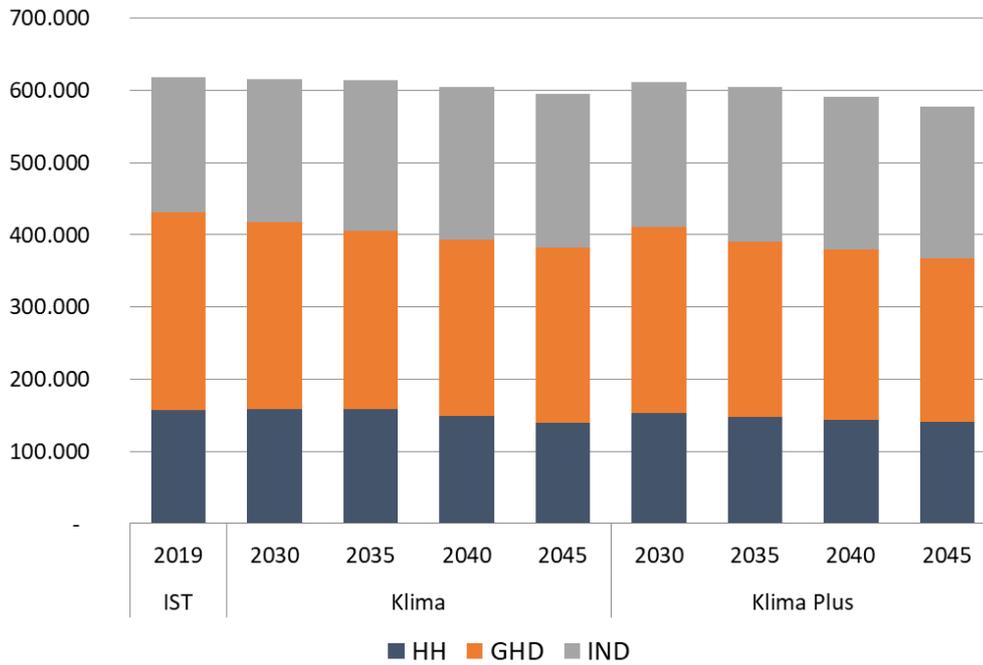


Abbildung 3-10: Stromverbrauch im Klima- und Klima-Plus-Szenario nach Sektoren

Tabelle 3-5 fasst die oben dargestellten Annahmen für das Klima- und Klima-Plus-Szenario zusammen.

Tabelle 3-5: Zusammenfassung zentraler Annahmen der Szenarien im stationären Bereich

	Ausgangs-jahr	Klima-Szenario		Klima-Plus-Szenario	
Wärme-Kennwert (kWh/qm)	2019 98	2035 91	2045 83	2035 86	2045 73
Sanierungsrate	<1 %	2 %	3 %	3 %	4 %
Wohnfläche pro Einwohnerin in qm	2019 41	2045 41		2045 38	
Wärmebereitstellung					
Jährliche Austauschrate Ölkessel in %		4%		17% (100% Austausch bis 2028)	
Fernwärmeverbrauch im Vergleich zu 2019		2035 -8 %	2045 -14 %	2035 -28 %	2045 -39 %
Anteil der Fernwärme am Wärmeverbrauch	39 %	40 %	46 %	39 %	39 %
Emissionsfaktor Fernwärme g/kWh	2019 201	2035 136	2045 50	2035 60	2045 20
Erdgasverbrauch im Vergleich zu 2019		-58 %	-89 %	-95 %	-100 %
Wärmepumpe Faktor Ausbaurrate ggü. 2019		8	14	13	19
Strombereitstellung					
Stromemissionsfaktor (Bundesmix) g/kWh	2019 478	2035 176	2045 50	2035 73	2045 25

3.3.2 Verkehr

Eine Treibhausgasminderung im Verkehr ist durch die Vermeidung und Verlagerung von Kfz-Fahrten sowie durch einen Wechsel auf alternative Antriebe und Kraftstoffe möglich. Schwerpunkte verkehrsbezogener Maßnahmen in den Szenarien im Klima-Szenario und im Klima-Plus-Szenario liegen auf Verkehrsverlagerungen im Personenverkehr sowie einem beschleunigten Hochlauf der Elektromobilität. Im Zusammenwirken mit dem Ausbau der erneuerbaren Stromversorgung führt

die Elektromobilität zu einem starken Anstieg des Einsatzes erneuerbarer Energieträger im Verkehr. Der Einsatz von Bio- und strombasierten Kraftstoffen trägt ebenfalls zur Defossilisierung bei, spielt aber eine untergeordnete Rolle.

Die Szenarienannahmen für Erlangen im Klima-Szenario orientieren sich vorrangig an den bundesweiten Entwicklungen im Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“ der Stiftung Klimaneutralität (2021). Für das Klima-Plus-Szenario wurden darüberhinausgehende Potenziale auf Basis von aktuellen Potenzialanalysen und politischen Zielen abgeleitet.

Verkehrsentwicklung

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) in Deutschland war im Jahr 2020 aufgrund der Corona-bedingten Einschränkungen im Jahresmittel etwa 10 % niedriger als im Vorjahr. Im Klima-Szenario werden die Pkw-Fahrleistungen bis 2025 zunächst leicht um 5 % ansteigen und nehmen in den Folgejahren kontinuierlich ab. Im Jahr 2030 erreichen die Pkw-Fahrleistungen etwa wieder das Niveau von 2020, im Jahr 2040 sind die Fahrleistungen etwa 19 % niedriger. Einen wesentlichen Beitrag zu diesen MIV-Verkehrsreduktionen leistet die verstärkte Verlagerung auf Rad- und Fußverkehr sowie auf öffentliche Verkehrsmittel. Linienbus und Schienenpersonennahverkehr steigen bis 2025 um 25-30 % ggü. dem Vor-Corona-Jahr 2019 an, bis 2040 wird etwa eine Verdopplung der ÖPNV-Nutzung erreicht¹. Im Klima-Plus-Szenario kann die Nutzung klimafreundlicher Verkehrsmittel deutlich schneller gesteigert werden. Angelehnt an die ambitionierten Verkehrsziele im Bundesland Baden-Württemberg wird eine Verdopplung des ÖPNV bereits im 2030 erreicht². Mit der Annahme eines moderaten weiteren ÖPNV-Anstiegs sowie komplett vermiedenen 5 % (2030) bzw. 10 % (2040) aller Pkw-Fahrten ist die Pkw-Fahrleistung bereits im Jahr 2030 um 12 % und im Jahr 2040 um 25 % niedriger als 2020.

Im Straßengüterverkehr hat die Corona-Pandemie im Jahr 2020 zu einem leichten Rückgang der Fahrleistungen schwerer Lkw im Vergleich zum Vorjahr geführt, dagegen sind die Fahrleistungen leichter Nutzfahrzeuge durch verstärkte Nutzung von Online-Einkauf und Lieferdiensten deutlich angestiegen. Bis zum Jahr 2040 ist im Güterverkehr auch mit verstärkten Klimaschutzanstrengungen zur Verlagerung auf die Schiene mit einer weiteren Fahrleistungszunahme zu rechnen. Der Lkw-Verkehr steigt im Klima-Szenario bis 2030 um ca. 20 % und bis 2040 um 26 % gegenüber 2020 an. Im Klima-Plus-Szenario kann der Verkehrsanstieg weiter abgeschwächt werden. Dennoch ist der Lkw-Verkehr im Jahr 2030 um 5 % und im Jahr 2040 um 11 % höher als 2020.

¹ Dabei wird im Öffentlichen Straßenpersonenverkehr ab 2035 neben Linienbusverkehr auch anteilig Straßenbahnverkehr in die Berechnungen einbezogen für die angenommene Inbetriebnahme der Stadt-Umland-Bahn (StUB).

² Mit der Corona-Pandemie ist deutschlandweit die ÖPNV-Nutzung im Jahr 2020 stark eingebrochen und hat sich auch im Jahr 2021 nicht vollständig erholt. Dementsprechend werden voraussichtlich deutlich verstärkte Anstrengungen notwendig sein, um die in den Szenarien angenommenen Verlagerungspotenziale zu realisieren.

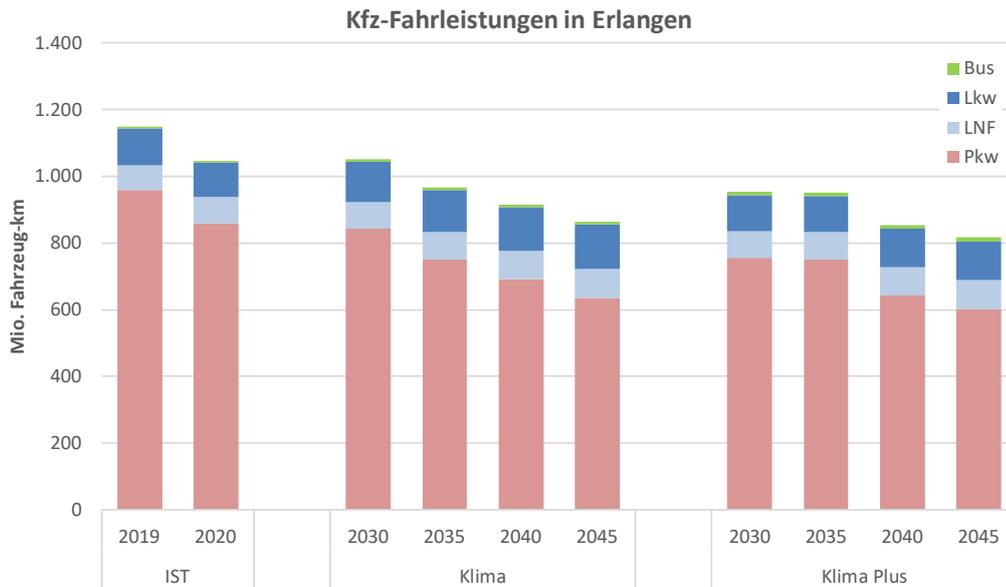


Abbildung 3-11: Fahrleistungen von Pkw (rot) und Lkw >3,5t (blau) in Erlangen

Alternative Antriebe und erneuerbare Kraftstoffe

Wesentlicher Stellhebel zur Umstellung auf erneuerbare Energieträger im Pkw-Verkehr ist die Elektromobilität.

Im Klima-Szenario steigt, angelehnt an das Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“ der Stiftung Klimaneutralität (2021), der Anteil von Elektro-Pkw an den jährlichen Neuzulassungen auf 78 % (davon ca. 1/5 Plug-In-Hybride). Damit werden im deutschlandweiten Bestand knapp 14 Mio. Elektro-Pkw (9 Mio. BEV, 4 Mio. PHEV) erreicht. Der elektrisch erbrachte Anteil an den gesamten Pkw-Fahrleistungen erreicht im Jahr 2030 damit knapp 24 %. Im Klima-Plus-Szenario wird der Hochlauf der Elektromobilität deutlich beschleunigt. Bis 2030 werden entsprechend der Zielsetzung im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung deutschlandweit im Bestand 15 Mio. vollelektrische Pkw erreicht (dazu sind bis 2030 100 % BEV-Neuzulassungsanteil erforderlich). Der elektrische Fahrleistungsanteil im Jahr 2030 beträgt 34 %. Bis zum Jahr 2040 steigt der elektrische Fahrleistungsanteil im Klima-Szenario auf 71 % und im Klima-Plus-Szenario auf 95 %. Ab dem Jahr 2045 ist der Pkw-Verkehr in beiden Szenarien (nahezu) vollständig elektrifiziert.

Auch im Lkw-Verkehr ist für die Zukunft eine starke Elektrifizierung zu erwarten. Neben batterieelektrischen Fahrzeugen, insb. im lokalen und regionalen Verteilerverkehr, sind vor allem für den Fernverkehr auch anteilig Oberleitungs-Lkw sowie Brennstoffzellenfahrzeuge zu erwarten. Im Klima-Szenario wird bis zum Jahr 2030 ein elektrischer Fahrleistungsanteil (inkl. H₂) von 21 % erreicht. Voraussetzung dafür sind elektrische Neuzulassungsanteile von 55 % (Solo-Lkw) bis 70 % (Last- und Sattelzüge) im Jahr 2030. Ab 2040 (Solo) bzw. 2045 (Sattelzüge) werden keine Diesel-Lkw mehr neu zugelassen. Damit steigt der elektrische Fahrleistungsanteil bis zum Jahr 2040 auf 84 %. Im Klima-Plus-Szenario wird wie im Pkw-Verkehr auch bei Lkw die Umstellung auf alternative Antriebe zusätzlich beschleunigt. Ab 2035 werden keine Diesel-Lkw mehr neu zugelassen. Damit werden bis 2030 38 % und bis 2040 92 % Fahrleistungsanteil

alternativer Antriebe erreicht. Nach 2045 wird in beiden Szenarien der gesamte Lkw-Verkehr vollelektrisch oder mit Wasserstoff betrieben.

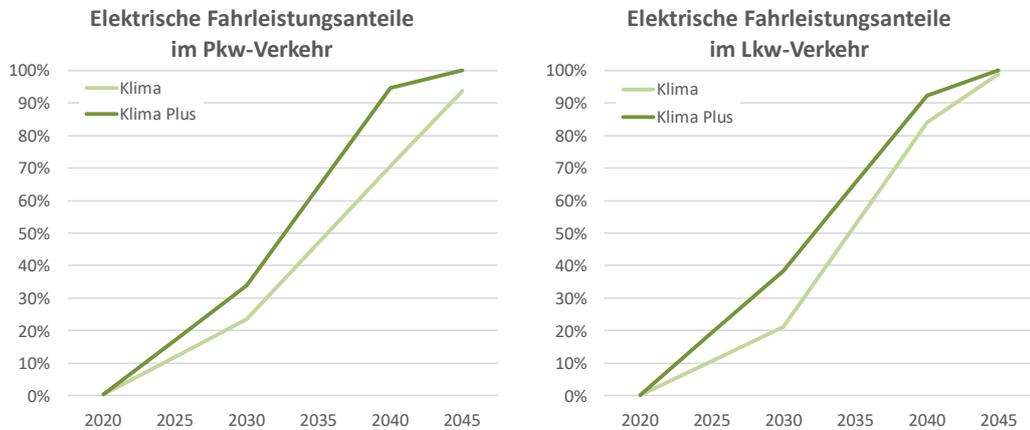


Abbildung 3-12: Elektrische Fahrleistungsanteile von Pkw (links) und Lkw >3,5t (rechts) in Erlangen

Mit dem Ziel einer vollständigen Elektrifizierung spielt der Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe langfristig für die Erreichung von Klimaneutralität im Straßenverkehr keine entscheidende Rolle. Temporär tragen erneuerbare Kraftstoffe jedoch ebenfalls zu einer (beschleunigten) Treibhausgasminderung im Straßenverkehr bei. Der Einsatz von Biokraftstoffen wird bis zum Jahr 2030 nicht über das heutige Niveau hinaus erhöht und erreicht aufgrund insgesamt sinkenden Kraftstoffbedarfs im Jahr 2030 einen Anteil von 9 % (Klima) bzw. 13 % (Klima Plus) am gesamten Kraftstoffverbrauch. In den Folgejahren wird die eingesetzte Biokraftstoffmenge reduziert, bis im Jahr 2045 keine Biokraftstoffe mehr eingesetzt werden. Von strombasierten Flüssigkraftstoffen (PtL) können laut aktuellem Projektionsbericht 2021 für Deutschland im Jahr 2030 für den gesamten inländischen Benzin- und Dieselbedarf 29 PJ sowie im Jahr 2040 58 PJ bereitgestellt werden. Diese Mengen werden anteilig für Erlangen auch im Klima-Szenario angenommen. Für das Jahr 2045 wird angenommen, dass der geringe verbleibende Kraftstoffbedarf vollständig durch PtL abgedeckt wird. Im Klima-Plus-Szenario sind bei gleichen absoluten PtL-Mengen die prozentualen PtL-Anteile aufgrund des insgesamt niedrigeren Kraftstoffbedarfs entsprechend höher.

Tabelle 3-5 fasst die oben dargestellten Annahmen im Verkehr für das Klima- und Klima-Plus-Szenario zusammen.

Tabelle 3-6: Zusammenfassung zentraler Annahmen der Szenarien im Verkehr in Erlangen

	Ausgangs-jahr	Klima-Szenario			Klima-Plus-Szenario		
		2019 (2020)	2030	2040	2045	2030	2040
Verkehrsentwicklung							
Pkw-Fahrleistung (Mio. Fz-km)	958 (858)	842	692	634	755	644	601
Lkw-Fahrleistung	111 (103)	122	130	134	108	115	118

(Mio. Fz-km)							
ÖPNV-Verkehrsleistung (Mio. Pkm)	99	154	202	216	194	216	234
Alternative Antriebe und erneuerbare Kraftstoffe							
Elektrische Fahrleistung Pkw	0,2%	24%	71%	94%	34%	95%	100%
Elektrische Fahrleistung Lkw	0,05%	21%	84%	99%	38%	92%	100%
Anteil Biokraftstoff	5,0%	9%	12%	0%	13%	48%	48%
Anteil PtL	0%	1,6%	13%	100%	2,2%	51%	100%

3.4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den Szenarien

3.4.1 Sektorübergreifende Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Im Folgenden wird zunächst die Entwicklung des Endenergieverbrauchs für die Szenarien dargestellt, bevor im Anschluss auf die Entwicklung in den einzelnen Sektoren eingegangen wird.

Im **Klima-Szenario** geht der gesamt Endenergieverbrauch bis 2035 um knapp ein Viertel (-23 %) zurück. Bis 2045 reduziert sich der Verbrauch um etwas mehr als ein Drittel gegenüber 2019. Im **Klima-Plus-Szenario** sinkt der Endenergieverbrauch bereits bis 2035 um etwa ein Drittel (-31 %). Bis 2045 reduziert sich der Verbrauch von 2.800 GWh im Jahr 2019 auf ca. 1.600 GWh (-42 %). Die Reduktionen basieren auf deutlichen Effizienzsteigerung und geminderten Fahrleistungen.

Während der Verbrauch von fossilen Energieträgern in beiden Szenarien im Wärme- und im Verkehrssektor signifikant reduziert wird, steigt aufgrund der Elektrifizierung des Verkehrssektors der Stromverbrauch im Klima-Szenario von 640 GWh in 2019 auf 1.000 GWh in 2045 bzw. 970 GWh im Klima-Plus-Szenario. Zudem steigt der Wärmeverbrauch von Wärmepumpen von 14 GWh im Jahr 2019 auf 200 GWh in 2045 im Klima-Szenario bzw. 260 GWh in 2045 im Klima-Plus-Szenario.

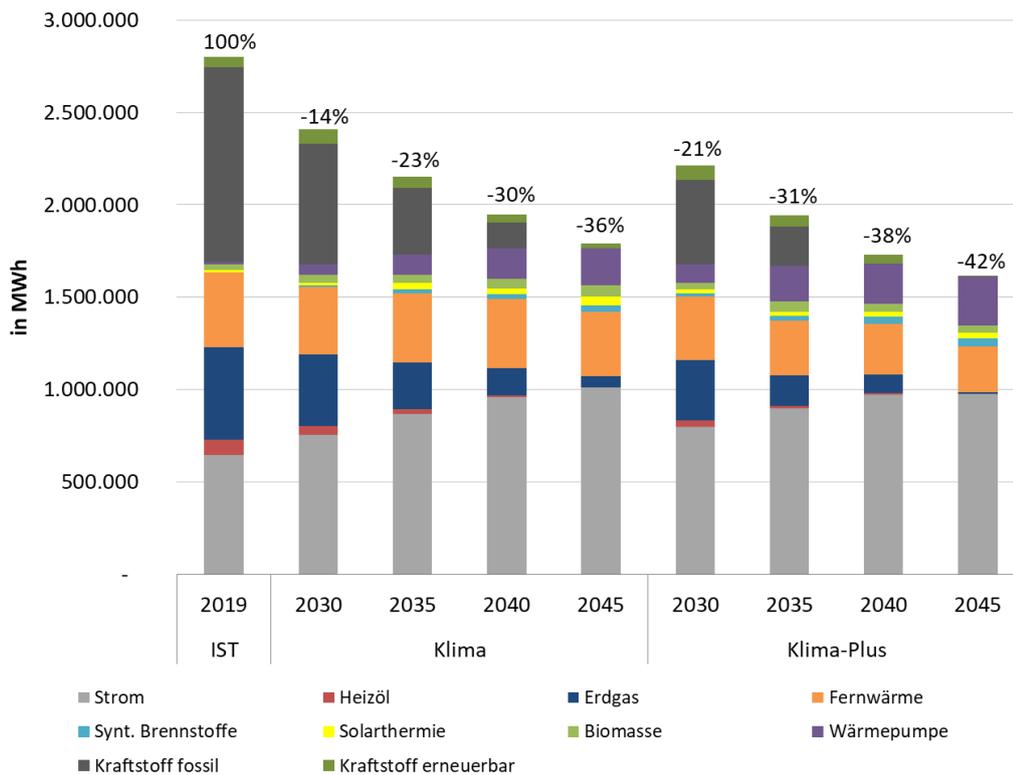


Abbildung 3-13: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Klima- und Klima-Plus-Szenario

3.4.2 Stationärer Bereich

Der „stationäre Bereich“ umfasst den Strom- und Wärmeverbrauch aus den Sektoren Private Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und der Industrie. In beiden Szenarien sinkt der gesamte Energieverbrauch im stationären Bereich sowohl bis zum Jahr 2035, als auch bis zum Jahr 2045.

Im **Klima-Szenario** sinkt der Endenergieverbrauch bis 2035 um 10 %, bis 2045 um 19 %. Der Rückgang ist im Wärmebereich insgesamt mit 25 % gegenüber dem Ausgangsjahr höher als die Reduktionen beim Stromverbrauch mit 8 %.

Im **Klima-Plus-Szenario** geht der Endenergieverbrauch bis 2045 um ein Viertel zurück (bis 2035 um 17 %). Die Einsparungen machen sich vor allem im Wärmebereich bemerkbar (-37 % bis 2045), der Stromverbrauch nimmt um etwa 10 % ab.

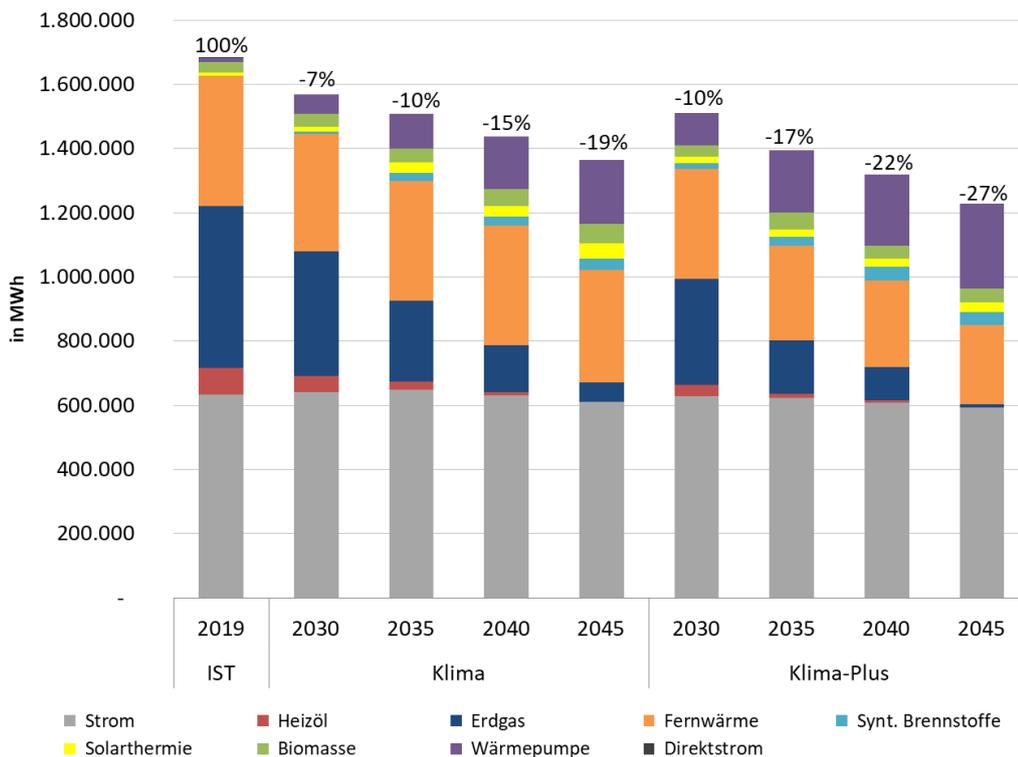


Abbildung 3-14: Entwicklung des stationären Endenergieverbrauchs im Klima- und Klima-Plus-Szenario

Abbildung 3-15 zeigt die Entwicklung des Wärmebedarfs nach Energieträgern von 2019 (unterster Balken) bis 2045 in den Szenarien. Während im Jahr 2019 der Energieträger Erdgas mit 48 % den größten Anteil am Wärmebedarf hat, sinkt im Klima-Szenario im Jahr 2035 der Erdgasanteil auf 29 %, bis er im Jahr 2045 noch einen Anteil von 8 % hat. Im Klima-Plus-Szenario sinkt der Erdgasanteil auf 22 % (2035) bzw. 2 % (2045).

Der Anteil der Fernwärme am Wärmebedarf nimmt stark zu und steigt im Klima-Szenario auf 46 %. Durch die hohen Einsparraten bleibt der Fernwärmeanteil im Klima-Plus-Szenario trotz Ausbau der Fernwärme konstant (2045: 39%).

Der Anteil der Wärmepumpe nimmt stark zu und deckt im Klima-Szenario im Jahr 2045 etwa ein Viertel des Wärmebedarfs. Im Klima-Plus-Szenario steigt der Anteil der Wärmepumpen deutlich stärker an, sodass der Anteil im Jahr 2045 bereits bei 42 % liegt.

Biomasse erreicht in den Szenarien einen Anteil von 8 bzw. 7 %. Die Nutzung weiterer Energieträger für die Wärmeversorgung (synthetische Brennstoffe und Solarthermie) nimmt ebenso zu, bleiben allerdings im einstelligen Bereich.

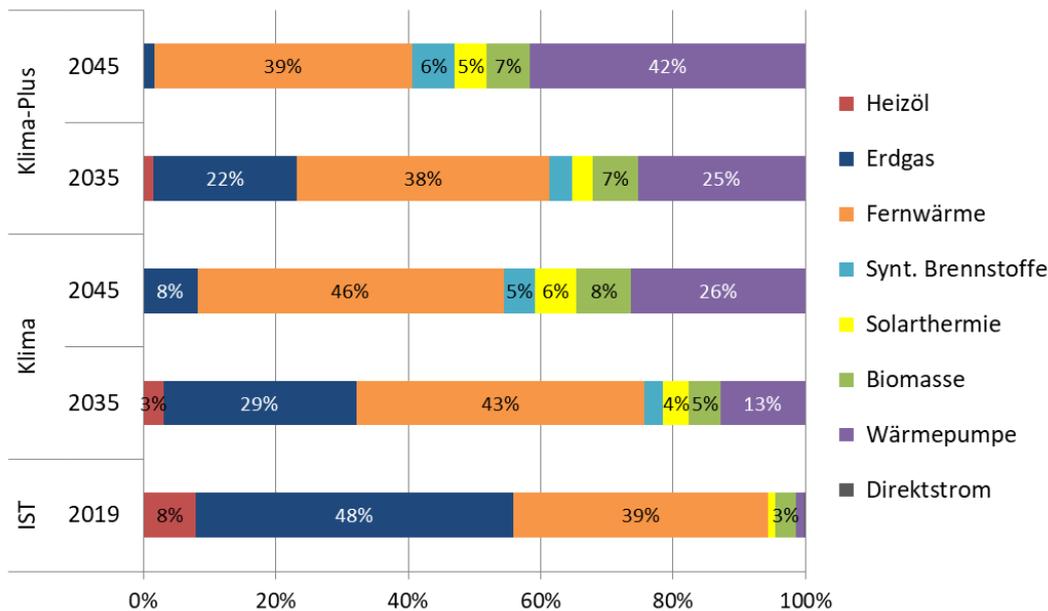


Abbildung 3-15: Entwicklung des Wärmebedarfs nach Energieträgern in den Szenarien

3.4.3 Verkehr

Der Sektor Verkehr umfasst den Kraftstoff- und Stromverbrauch des gesamten Kfz-Verkehrs im Erlanger Territorium sowie des Schienenverkehrs und der Güter-Binnenschifffahrt auf dem Main-Donau-Kanal. In beiden Szenarien sinkt der gesamte Energieverbrauch im Verkehr sowohl bis zum Jahr 2035, als auch bis zum Jahr 2045 deutlich gegenüber dem Jahr 2019.

- Im **Klima-Szenario** sinkt der Endenergieverbrauch bis 2035 um 42 %, bis 2045 um 62 % gegenüber 2019.
- Im **Klima-Plus-Szenario** halbiert sich der Endenergiebedarf bis 2035, bis 2045 sinkt er um zwei Drittel gegenüber 2019.

Die Einsparungen kommen sowohl im Klima- als auch Klima-Plus-Szenario überproportional aus dem Pkw-Verkehr (2019-2045: Klima -74 %, Klima-Plus -77 %), sie resultieren sowohl aus dem Rückgang der Fahrleistungen als auch auf dem Antriebswechsel auf Elektromobilität, da Elektro-Pkw eine deutlich höhere Endenergieeffizienz haben als Benzin- und Diesel-Pkw. Auch im Lkw-Verkehr kann mit der Umstellung auf Elektroantriebe der Endenergiebedarf in den Szenarien trotz weiter ansteigender Fahrleistungen zukünftig deutlich reduziert werden (2019-2045: Klima -74 %, Klima-Plus -77 %).

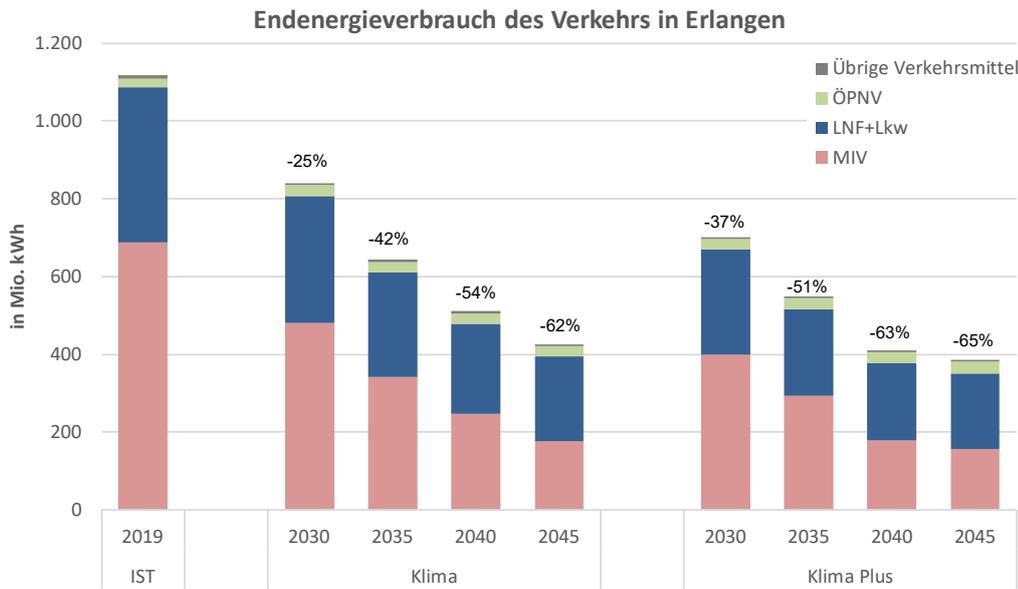


Abbildung 3-16: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr im Klima- und Klima-Plus-Szenario

Im Jahr 2019 war der Endenergieverbrauch des Verkehrs dominiert von fossilen Kraftstoffen (94 % des gesamten Energieverbrauchs). Der geringe Anteil von Stromverbrauch entfiel fast ausschließlich auf den Schienenverkehr im Erlanger Territorium. Zukünftig wird sowohl im Klima- als auch Klima-Plus-Szenario durch den Hochlauf der Elektromobilität im Pkw- wie auch Lkw-Verkehr Strom zum dominierenden Endenergieträger im Verkehr. Bereits im Jahr 2035 erreicht der Anteil von Strom 34 % (Klima) bzw. 50 % (Klima-Plus). Im Jahr 2045 entfallen im Klima-Szenario 94 %, im Klima-Plus-Szenario nahezu 100 % des Endenergieverbrauchs auf Strom. Im Jahr 2045 werden im Verkehr keine fossilen Kraftstoffe mehr eingesetzt. Soweit noch Kraftstoffe zum Einsatz kommen (im Klima-Szenario primär Straßenverkehr, im Klima-Plus-Szenario nur noch in der Binnenschifffahrt), werden ausschließlich strombasierte Kraftstoffe (PtL) verwendet.

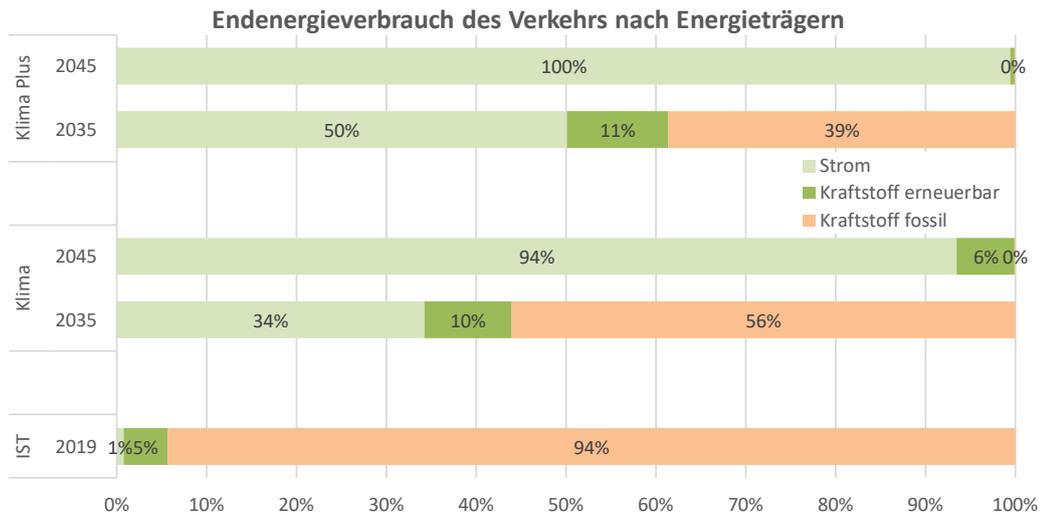


Abbildung 3-17: Endenergieverbrauch des Verkehr im Klima- und Klima-Plus-Szenario nach Energieträgern

3.5 Entwicklung der THG-Emissionen in den Szenarien

3.5.1 Sektorübergreifende Entwicklung der THG-Emissionen

In beiden Szenarien sinken die THG-Emissionen gegenüber dem Ausgangsjahr 2019. Im **Klima-Szenario** reduzieren sich die Emissionen bis 2045 um fast 90 %, bis 2035 wird eine Minderung um etwas über die Hälfte (-54 %) ermittelt. Im **Klima-Plus-Szenario** sinken die Emissionen bereits bis 2030 um mehr als die Hälfte, bis 2045 wird eine Reduktion von 96 % erreicht (vgl. Abbildung 3-18).

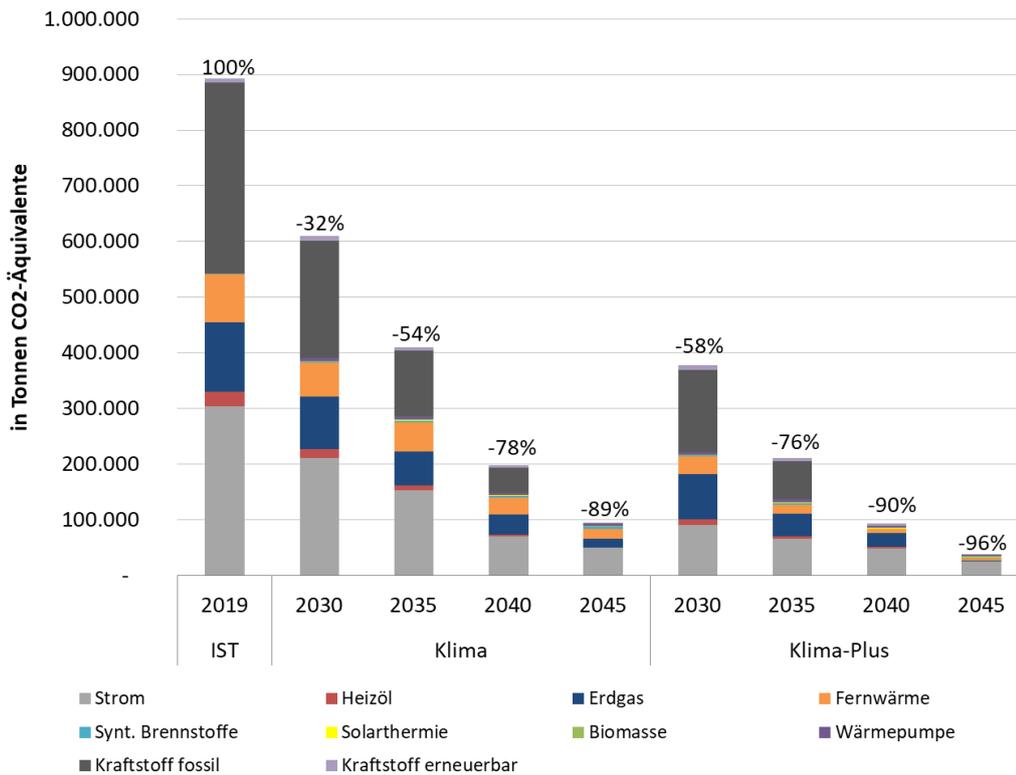


Abbildung 3-18: Entwicklung der THG-Emissionen im Klima- und Klima-Plus-Szenario

Die nachfolgende Tabelle 3-7 stellt die beiden Szenarien nach Emissionen in Tonnen pro Kopf dar. Bis 2045 reduzieren sich demnach die THG-Emissionen im **Klima-Szenario** auf 0,8 Tonnen pro Kopf. Im **Klima-Plus-Szenario** liegt der Indikator im Jahr 2045 bei 0,3 Tonnen pro Kopf.

Tabelle 3-7: THG-Emissionen pro Kopf in den zwei Szenarien in Tonnen CO₂-Äquiv.

	2019	2030	2035	2040	2045
Ausgangsjahr	7,9				
Klima-Szenario		5,2	3,5	1,7	0,8
Klima-Plus-Szenario		3,2	1,8	0,8	0,3

3.5.2 Entwicklung der THG-Emissionen im stationären Bereich

Im stationären Bereich (Sektoren Private Haushalte, Gewerbe / Handel / Dienstleistungen und der Industrie) entwickeln sich die Treibhausgasemissionen ähnlich wie die oben dargestellten Gesamtemissionen.

Im **Klima-Szenario** werden die THG-Emissionen im stationären Bereich bis 2035 um etwas mehr als die Hälfte (-54 %) gegenüber 2019 reduziert. Ein deutlicher Rückgang ist vor allem für die Energieträger Heizöl, Erdgas und Strom ersichtlich. Während im Wärmebereich in der Summe bis 2035 eine Reduktion um 44 % gegenüber dem Ausgangsjahr erreicht wird, reduzieren sich die THG-Emissionen aus

dem Stromverbrauch aufgrund des verbesserten Stromemissionsfaktors um 62 %. Bis 2045 wird insgesamt eine Reduktion der THG-Emissionen um 87 % gegenüber 2019 erreicht. Den größten verbleibenden Anteil an den Emissionen hat 2045 der Stromverbrauch mit etwas über 40 %.

Im **Klima-Plus-Szenario** reduzieren sich die THG-Emissionen bis 2035 um 79 % gegenüber 2019. Im Jahr 2040 wird nahezu die THG-Neutralität erreicht, es verbleiben noch etwas über 10 % der Emissionen. Bis 2045 reduzieren sich die Emissionen um 95 %. Emissionen bleiben aufgrund der Vorketten vor allem im Stromverbrauch bestehen. Eine solch weitgehende Treibhausgasneutralität des stationären Bereichs ist nur mit einer extrem ehrgeizigen Sanierungsstrategie und der gleichzeitig angenommenen Umstellung der gesamten Energieversorgung auf regenerative Energieträger erreichbar.

Abbildung 3-19 stellt die Absenkpfade der verschiedenen Szenarien nach Energieträgern im stationären Bereich dar.

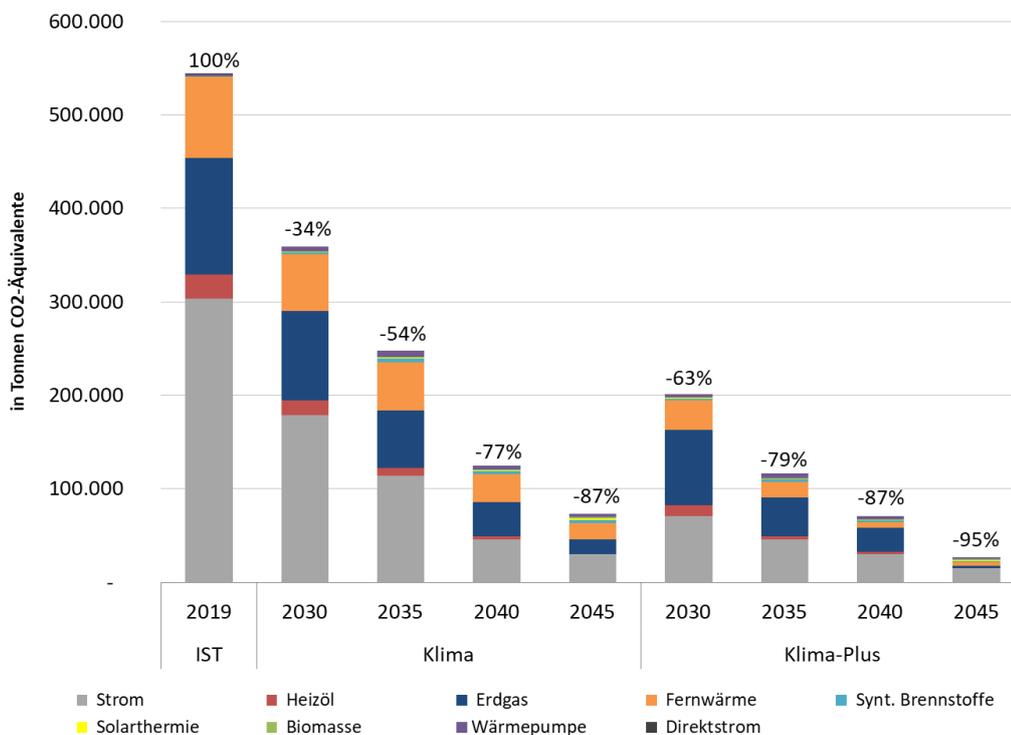


Abbildung 3-19: Entwicklung der THG-Emissionen im stationären Bereich in den Szenarien

3.5.3 Verkehr

Die Treibhausgasemissionen im Verkehr sinken im **Klima-Szenario** bis 2040 ähnlich schnell wie die Gesamtemissionen in Erlangen. Bis 2035 wird eine Emissionsminderung um 54 % erreicht, bis 2040 um 79 %. Die bis 2045 insgesamt erreichte Emissionsminderung ist mit 94 % überdurchschnittlich.

Im **Klima-Plus-Szenario** ist die Emissionsminderung zunächst bis 2035 etwas langsamer als im stationären Bereich. Nach 2035 beschleunigt sich die Emissionsminderung deutlich, was neben sinkenden Fahrleistungen primär auf den Hochlauf der Elektromobilität bei gleichzeitig sinkenden spezifischen Emissionen der auf erneuerbare Energien umgestellten Strombereitstellung zurückzuführen ist. Im Jahr 2045 sind die Emissionen aus dem Verkehr um 97 % niedriger gegenüber 2019. Restemissionen verbleiben aufgrund der Vorketten im Stromverbrauch sowie der Bereitstellung strombasierter Kraftstoffe bestehen.

Abbildung 3-20 stellt die Absenkpfade der verschiedenen Szenarien nach Energieträgern im stationären Bereich dar.

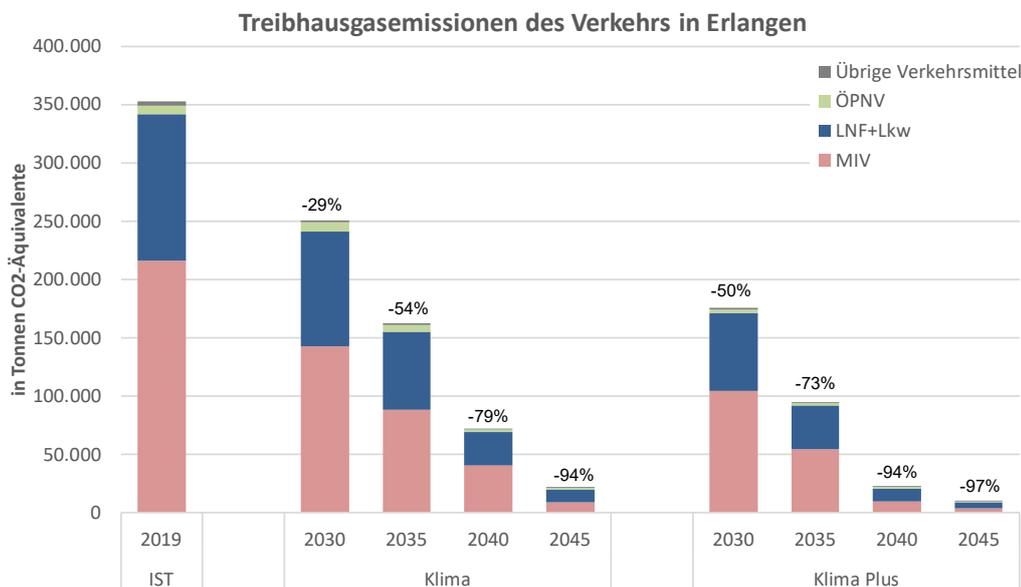


Abbildung 3-20: Entwicklung der THG-Emissionen im Verkehr im Klima- und Klima-Plus-Szenario

3.5.4 Vergleich zu 1990

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung beziehen sich auf das Basisjahr 1990. Daher werden in Abbildung 3-21 die erreichten Minderungsziele der beiden Szenarien den Bundeszielen gegenübergestellt.

Im **Klima-Szenario** wird bis 2030 das Klimaschutzziel der Bundesregierung von - 65 % nicht erreicht, stattdessen wird eine Minderung von etwa 52% erreicht. In den Jahren 2030 bis 2040 entfaltet sich die Wirkung der davor angestoßenen Klimaschutzmaßnahmen, sodass im Jahr 2040 im Klima-Szenario mit 85 % Minderung fast die Ziele der Bundesregierung erreicht werden (-88 %).

Im **Klima-Plus-Szenario** wird das Ziel der Bundesregierung 2030 mit einer Minderung von 70 % übertroffen, ebenso 2040 wird mit einer Minderung von 93 %.

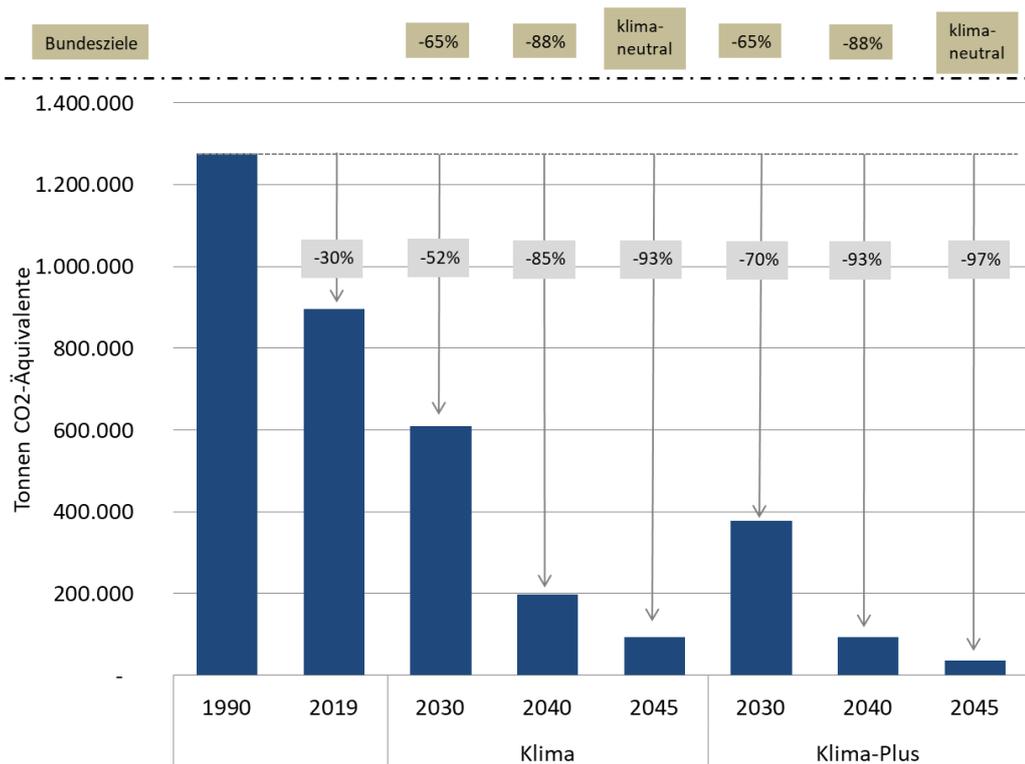


Abbildung 3-21: THG-Emissionsreduktion der Szenarien im Vergleich zu den Bundeszielen

3.5.5 Budget-Ansatz

Abbildung 3-22 stellt die verbleibenden CO₂-Emissionsbudgets für Deutschland und für verschiedene Grenzen der Temperaturerhöhungen dar.¹ Die Linien stellen die Ergebnisse aus dem Klima- und Klima-Plus-Szenario dar.

Das für Erlangen entwickelte Klima-Plus-Szenario liegt bzgl. des verbrauchten Budgets etwas oberhalb dem 1,75-Grad-Ziel (dargestellt in Abbildung 3-22 als graue Linie). Das Klima-Szenario entspricht in etwa dem 2-Grad-Ziel (dargestellt als orangene Linie).

Das Klima-Szenario entspricht einem fast linearen Absenkpfad bis 2040, das Klima-Plus-Szenario einem stark forcierten Absenkpfad mit deutlich schnelleren Treibhausgasminderungen in den unmittelbar bevorstehenden Jahren.

¹ Nach einer Aufteilung des globalen CO₂-Restbudgets standen Deutschland ab 2020 bei einer Wahrscheinlichkeit von 67% noch 400 Gigatonnen CO₂ (1,5°C) / 700 Gt CO₂ (1,75°C) / 1.150 Gt CO₂ (2°C) zur Verfügung (<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/MIND-THE-AMBITION-GAP.pdf> S. 34).

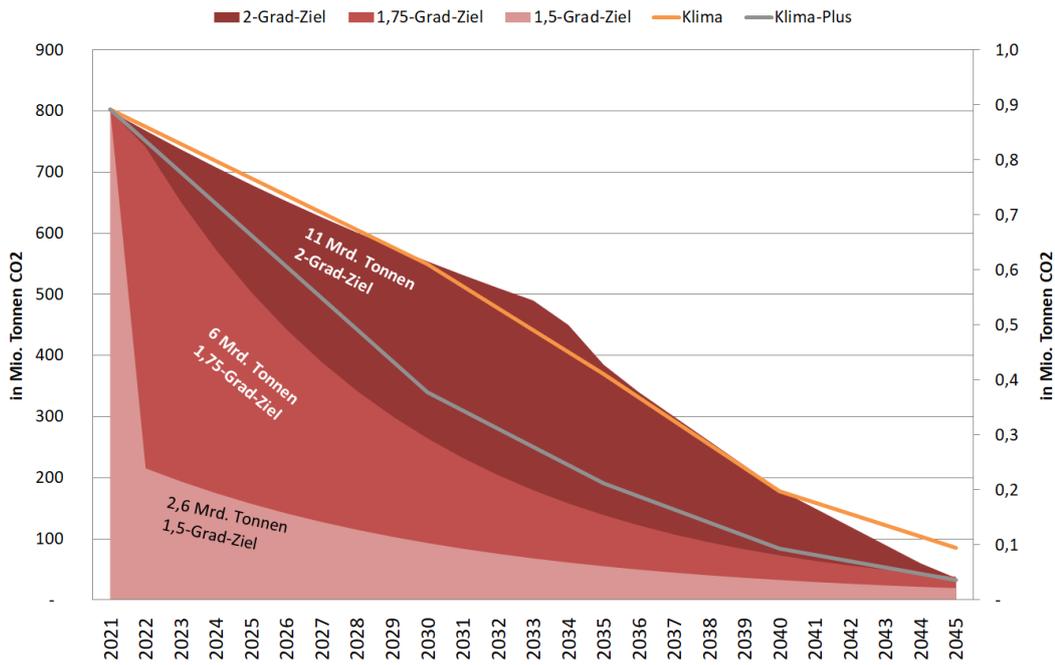


Abbildung 3-22: THG-Emissionen des Klima- und Klima-Plus-Szenarios in Relation mit dem CO₂-Budget Deutschlands (angelehnt an Öko-Institut 2022)

Literaturverzeichnis

Agora / Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.

Energievision Franken GmbH (EVF, 2021): Klimaneutrales Erlangen – erste Analysen. Langfassung.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2021): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Im Auftrag des BMWi.

ifeu (2019): BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal. Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. Im Rahmen des Vorhabens „Klimaschutz-Planer – Kommunaler Planungsassistent für Energie und Klimaschutz“. Heidelberg.

KlimaKom (2020): Grundlagenstudie Klimanotstand im Auftrag der Stadt Erlangen. (https://www.erlangen.de/PortalData/1/Resources/030_leben_in_er/dokumente/amt_31/Erlangen_Grundlagenstudie_Klimanotstand.pdf)

Öko-Institut (2022): Mind the Ambition Gap. Internationale Finanztransfers als Instrument zur Einhaltung nationaler CO₂-Budgets. Im Auftrag des WWF.

Prognos (2020): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Im Auftrag des BMWi.

Prognos/EWI/GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020): Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO₂-Budget.

Statistikamt Erlangen (2020): Kleinräumige Bevölkerungsprognose.

Umweltbundesamt (2021): Treibhausgasneutralität in Kommunen. Factsheet. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2021-03-24_factsheet_treibhausgasneutralitaet_in_kommunen.pdf

Umweltbundesamt (2022): Klimaschutzpotenziale in Kommunen. Quantitative und qualitative Erfassung von Treibhausgasminderungspotenzialen in Kommunen. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/klimaschutzpotenziale-in-kommunen>



**Qr-Code scannen
und informieren**

**Jetzt gleich
Förderung
beantragen!**

Ob Lastenfahrrad, CO₂-Minderung für
Gebäude, Begrünung oder
gemeinnütziges Klimaschutzprojekt:

Die Stadt Erlangen unterstützt Sie
beim Klimaschützen mit Zuschüssen.
Erfahren Sie mehr auf

erlangen.de/klima-aufbruch

Herausgeber

Amt für Umweltschutz und Energiefragen
Team Klimaschutz und Nachhaltigkeit

Schuhstraße 40
91052 Erlangen

Tel: (0)9131 86- 3043
E-Mail: klima@stadt.erlangen.de

Besuch uns auf

 **Klima-Aufbruch
Erlangen**

